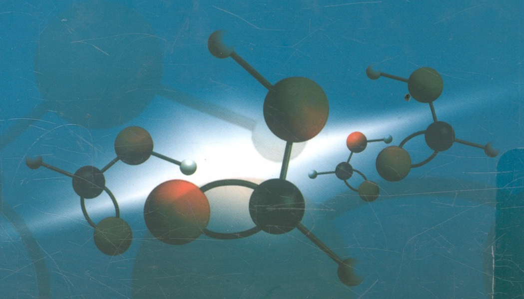
البصريات الفيزيائية

أ. سامر ابراهيم حسين اسماعيل





www.darsafa.net



﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ﴾

صدق الله العظيم

البصريات الفيزيائية

البصريات الفيزيائية

أ. سامر إبراهيم حسين اسماعيل

الطبعة الأولى
2009م – 1430هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2248/ 7/ 2008)

535

اسماعيل، سامر

البصريات الفيزيائية/ سامر إبراهيم اسماعيل.

- عمان: دار صفاء، 2008.

( ) ص

ر . أ (2248/ 7/ 2008)

الواصفات : / العلوم الطبيعية/ / البصريات/

* تم إعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

الطبعة الأولى

2009 م - 1430 هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع

عمان - شارع الملك حسين - مجمع الفحيص التجاري - تلفاكس4612190 6 962+

ص.ب 922762 عمان - 11192 الاردن

DAR SAFA Publishing - Distributing

Telefax: +962 6 4612190 P.O.Box: 922762 Amman 11192- Jordan

http://www.darsafa.net

E-mail :safa@darsafa.net

ISBN 978-9957-24-410-1 ردمك

المقدمة

إن الضوء مهم جدا في حياتنا فمن خلاله نرى الأشياء من حولنا ، ولذلك حاول العلماء منذ القدم معرفة ماهية الضوء وكيف نرى الأشياء ونشأ بعد ذلك العلم الذي يهتم بالضوء المرئي وطبيعته وظواهره المختلفة والذي سمي بعلم البصريات (Optics) والذي يدرس أيضا الإشعاع وتفاعله مع المادة، ثم مع تطور العلم وتقدم الزمن تطور هذا العلم وتفرع فهناك من يكتب في البصريات الهندسية، وهناك من يكتب في البصريات الموجية أو بشمولية أكثر البصريات الفيزيائية، كذلك إختص دارسون في مجال البصريات التطبيقية وأصبحت هناك كليات وأقسام للبصريات التطبيقية تدرس هذا العلم .

وكذلك فإن علم البصريات أصبح بتطبيقاته العلمية والعملية لطلبة العلوم أو الفيزياء أو الأطباء أو فاحصي البصر أو المهندسين.

وهذا الكتاب يختص بجزء من علم البصريات وهو البصريات الفيزيائية. والمطروح بشكل منسق وواضح ومبسط يناسب المختص وغير المختص ويناسب كافة المستويات العلمية .

وبالإضافة للأساس النظري يلاحظ في هذا الكتاب أنه يحتوي على جانب عملي يهم بشكل خاص من يختصون بهندسة الإضاءة والديكور من خلال مواضيع الإضاءة الخارجية والداخلية وحساباتها.

كما أنّ هذا الكتاب يأتي ضمن سلسلة من الكتب الأخرى المختصة بالبصريات وتطبيقاتها إن شاء الله.

نسأل الله العلي القدير أن نكون ممن قال فيهم رسوله((إن الله يحب إذا عمل أحدكم عملاً أن يتقنه))

المؤلف

الإهداء

إلى كل طالب علم وطالبة علم ....

مع تمنياتي لكم بالنجاح والتوفيق

سامر

الفهرس

الوحدة الرابعة

الظواهر الضوئية

الوحدة الخامسة

الليزر

الوحدة الأولى

طبيعــة الضــوء

الوحدة الأولى : طبيعة الضوء

أولاً : طبيعة الضوء

أكدت التجارب بأن المادة المشعّة تفقد طاقة في الوقت نفسه الذي تمتص فيه مادة أخرى هذه الطاقة .... ويحدث تغير في هذه المادة ... وغالبا ما يكون هذا التغير على شكل ارتفاع في درجات الحرارة ومن هنا أصبح العلماء يبحثون عن ماهية الضوء وطبيعته .

*** المراحل الرئيسية في التعرف على طبيعة وماهية الضوء.**

1) اعتقاد ((نيوتن)) الذي يقول بأن الضوء عبارة عن سيل من الدقائق المادية الصادرة عن مصدر ضوئي وتسير مبتعدة عن المصدر الضوئي في خطوط مستقيمة.... استطاع نيوتن تفسير قوانين الإنكسار والإنكسار من خلال هذا الاعتقاد.

2) اعتقاد ((هايجنز)) الذي افترض بأن الضوء عبارة عن موجات تنتشر خلال وسط سمي بالأثر كما تفعل أمواج الصوت.

لم يستطيع هايجنز تفسير ماهيّة الأثير لذلك لم يلاق اعتقاده الموافقة من العلماء ولكن مبدأه كان ناجحا في تفسير بعض الظواهر مثل الحيود والتداخل والتي لم تستطع النظرية الجسمية تفسيرهما.

3) جاء ماكسويل بعد ذلك بالنظرية الكهرمغناطيسية ووضع معادلات

رياضية ومـن خـلال نظريتـه فسـر الظواهـر الموجيـة للضـوء (الحيـود، التداخـل، الاستقطاب) وكذلك قال بأن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تسـير في الفراغ بسرعة $3x10^8$ m/s .

4) تبنى بلانك اعتقاد مهم ... في بداية القرن العشرين حيث ظهرت ظواهر لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية والنظرية الموجية للضـوء مـن تفسـيرها مثـل إشعـاع الجسم الأسود... وكان لا بد من وجود تصـور جديـد للضـوء وهـذا مـا افترضـه بلانك من أن التفاعل ما بين الضوء والمادة يتم على شكـل دفعـات أو نبضـات أو كمّات وسميت فيما بعد بالفوتونات حيـث أن كـل فوتـون يحمـل كـم معـين مـن الطاقة معتمدا على التردد وهذه العلاقة ما بين الطاقة والتردد هي

$$E= hf$$

E = طاقة الفوتون

h = ثابت بلانك

f = التردد

5) وعندمـا فشلـت النظريـة الموجيـة والفيزيـاء الكلاسـيكية في تفسـير الظـاهرة الكهروضوئية أيضاً فسّرها أينشتاين عن طريق الطبيعة الجسـمية وبالاسـتفادة مـن نظرية بلانك حيث بنى فكرة أن الفوتونـات أثنـاء انتشارهـا يمكـن أن تتفـاعل مـع جسيمات أخرى مثل الالكترونات وتمنحها طاقتها.

6) وتقدمت نظرية ((الكـم)) حيـث جـاء (بـور) وفسـر كيـف تشـع وتمتـص ذرة الهيدروجين الإشعاع وكذلك فسّـر العـالم كومبتـون كيـف يتفـاعل فوتـون أشعـة سينية مع الكترون عن طريق التصادم .

7) وبما أنّه تم تعريف الضوء على أنه فوتونات أوله طبيعة جسـمية لذلـك يجـب أن يعمل كنوع خاص من المواد حيث يجب أن نفرض بأنه له طاقة وكمية متحرك .

عندها جاء العالم دي بـرولي الـذي افـترض بـأن الجسيمات الـتي لهـا كميـة تحـرك ترافقها أمواج والعلاقة بين طول الموجة (λ) وكمية التحرك (p) هي .

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

وقد جاءت التجارب مصدقة لذلك حيث وجد دافيون أن الالكترون يحدث له حيود.

8) الطبيعـة المزدوجـة (الجسـمية –الموجيـة) هـي دائـرة كاملـة حيـث أن الضـــوء يتصرف كأمواج في انتشاره من خلال ظواهر الحيود والتداخل، كذلك فإنه سوف يتصرف كجسيمات عندما يتفاعل مع المادة.

كذلك فإن الالكترونات تتصرف كجسيمات وتتصرف كأمواج لأنها تري ظاهرة الحيود.

ومن المعادلات للفوتونات

$$p = \frac{E}{C}$$

$$P = \frac{h}{p}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{pc} = \frac{hc}{E}$$

9) ثم جاء (نيلز بور) مرة أخرى وقال بأن الفوتونات والالكترونات ليست أمواج ولا أجسام وإنما هي شيء أكثر تعقيدا.

10) ميكانيكا الكم ، أو ميكانيكا الأمواج تتعامل مع كل الأجسام المحسوسة وغير المحسوسة وتصف الضوء والمادة وهي المعتمدة لذلك.

ثانيا : مصطلحات وتعريفات

* طبيعة الضوء :-

← الطبيعة الجسمية :-

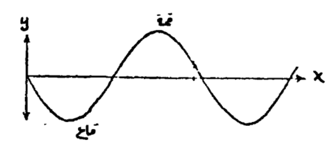
يفترض هذا النموذج أن الضوء سيل من الدقائق المادية الصغيرة جدا، وتنطلق من مصدر الضوء في جميع الاتجاهات بسرعة كبيرة جدا، وبخطوط مستقيمة ويسمى اتجاه كل خط منها بالشعاع الضوئي.

ومن أنصار هذا النموذج (نيوتن)

← الطبيعة الموجية : -

يفترض هذا النموذج بأن الضوء ينتشر من المصدر على شكل أمواج كروية، وقد ارتبط هذا النموذج بالعالم هايجنز.

* الأمواج التوافقية : -



* الاتساع ≡ A ≡ amplitude وهو أكبر قيمة تصل لها الموجة في y- axis .

* طول الموجة ≡ λ ≡ **wave length** وهي المسافة مابين قمتين متتاليتين أو قـاعين متتالين.

* الزمن الدوري ≡ T ≡ **period** وهو الزمن الذي تقطعه الموجة في طول موجي واحد.

* $\vec{K}$ ≡ اتجاه انتشار الموجة ≡ **Propagation Vector**

* **K** ≡ ثابت الموجة ≡ **wave number**

وهو $K = \frac{2\Pi}{\lambda}$

* التردد ≡ **f** ≡ **frepuency**

وهو مقلوب الزمن الدوري .

$$f = \frac{1}{T}$$

* التردد الزاوي ≡ **w** ≡ **angular frequncy**

$$w = 2\Pi f$$

شكل الموجة هو عبارة عن اقتران جيبي يعبر عنهما بالاقتران التالي: —

$$y = A \sin \left[\frac{2\Pi}{\lambda} (x - v t) \right] \quad ....(1)$$

$$y = A \sin \left[\frac{2\Pi x}{\lambda} - \frac{2\Pi vt}{\lambda} \right] \quad ....(2)$$

ولكن

$$\lambda = vT \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T}$$

فتصبح (2)

$$y = A \sin \left[\frac{2\Pi x}{\lambda} - \frac{2\Pi v}{\lambda} t\right] \text{....................(3)}$$

ولكن $T = \frac{\lambda}{v} \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{v}{\lambda}$

$$y = A \sin \left[\frac{2\Pi x}{\lambda} - \frac{2\Pi t}{T}\right] \text{....................(4)}$$

ولكن $K = \frac{2\Pi}{\lambda}$ و $K=\frac{2\Pi}{\lambda}$ فتصبح (4)

$$y = A \sin [k x - wt]$$

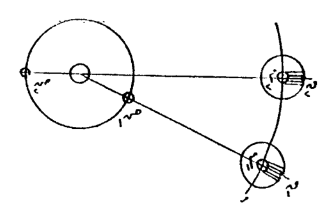
* سرعة الموجة ≡ v ≡

$$v = \frac{w}{k} \text{ or } v = \lambda f$$

ثالثاً : سرعة الضوء

كان يعتقد بأن الضوء لا يحتاج لزمن لقطع المسافات ولكن العالم رومر أول من أثبت أن الضوء له سرعة معينة كبيرة جدا ولكنها ليست لا نهائية .

1) طريقة رومر لإيجاد سرعة الضوء



لاحظ العالم رومر بأن أحد أقمار المشتري يدور حول المشتري محدثا خسوفا كلما قام بدورة ودخل في ظل المشتري والزمن بين خسوفين متتاليين هو 42،5 ساعة ولكنه لاحظ أن زمن الخسوف متغير إذ أنه يتاخر عن اللحظة المقدرة له عندما تبتعد الأرض عن المشتري ويتقدم زمن الخسوف عندما تكون الأرض مقتربة نحو المشتري .

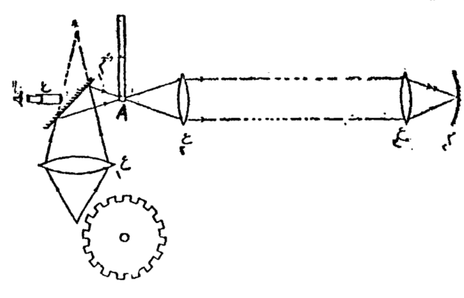
وقد وجد أن لحظة الخسوف المتوقعة تتأخر بمقدار 990 ثانية عن اللحظة المقدرة عندما تنتقل الأرض من الوضع ص1 إلى ص2 كما في الشكل . وهما الوضعان اللذان تكون فيهما المسافة بين الأرض والمشتري اصغر ما يمكن وأكبر ما يمكن. والفرق بين الوضعين هو خط مدار الأرض الذي يساوي 186×106 ميل لذلك

$$C = \frac{198 x 10^{6} \text{ mile}}{990 \text{ s}}$$

C= 190 000 mile /s

C= 300 000 m/s

2) طريقة فيزو



وهي تجربة ارضية ، انظر الشكل، استخدم فيزو مصدر ضوئي تسقط من الأشعة على عدسة مجمعة وقبل تجمع الأشعة تعكس من مرآة مائلة تعكس جزءا من الضوء إلى النقطة A والتي هي عبارة عن بؤرة لعدسة مجمعة موجودة أمامها. ويتجه الضوء بشكل متواز نحو عدسة أخرى على بعد كيلومترات وتتجه الأشعة نحو مرآة مقعرة موجودة في مركز العدسة المجمعة ولذلك ترتد الأشعة بنفس المسار.

يوجد عند النقطة A عجلة مسننة وتوضع العجلة بحيث يمكن للضوء عند A أن يمر خلال المسافات بين أسنان العجلة .

فمثلا لو ذهب الضوء من أحد الفرج بين سنين من أسنان العجلة فإنه سوف يتجه إلى العدسة الثانية ثم الثالثة ويعود ليمر منها الضوء. ويمكن ملاحظة ذلك من خلال تلسكوب.

وبعدها ينعكس الضوء ليعود وتكون عندها حلت سن مكان سن وعندها تختفي الصورة . ولذلك يرى المشاهد باستمرار عملية اختفاء الصورة (وذلك عندما تكون سرعة دوران العجلة بحيث تحل السن مكان الفرجة في الفترة الزمنية التي يستغرقها الضوء في قطع مساره ذهابا وإيابا) أما نتائج فيزو : –

عدد أسنان العجلة 720 سن وكانت تدور 12.6 دورة/ ثانية عندما اختفت الصورة تماما، المسافة ما بين العجلة والمرآة المقعرة تساوي 8633 متر.

فيكون الزمن الذي استغرقة الضوء ليقطع المسافة ما بين العجلة والمرآة المقعرة ذهابا وإيابا

$$t = \frac{\text{مسافة السن الواحد}}{\text{سرعة العجلة}}$$

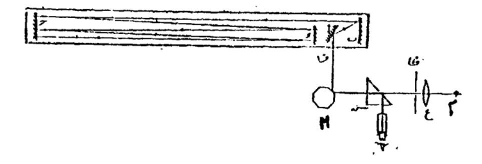
$$t = \frac{1/720}{1206}$$

$$C = \frac{\text{المسافة التي قطعها الضوء ذهاباً وإياباً}}{r}$$

$$C = \frac{2 \times 8633}{1.1 \times 10^{-4} s}$$

3) طريقة ميكلسون: –

وهي طريقة يقاس فيها سرعة الضوء في الفراغ حيث تستخدم انبوبة طولها ميل وقطرها 3 أقدام ويفرغ منها الضغط ل $\frac{1}{2}$ ملم زئبق.



الجهاز كما في الشكل حيث هناك مصدر للضوء أمام عدسة مجمعة يمر من فتحة ف ويسقط على أحد أوجه المرآة المنشورية M تتكون من 32 وجه تنعكس لتمر خلال فتحة صغيرة داخل الأنبوب لتسقط على مرآة مائلة تعكسها إلى المرآة

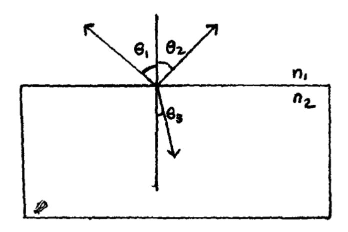
المقعرة (ب) التي بؤرتها عند (أ) تنعكس الضوء بشكل متوازي إلى المرآة جـ وتنعكس عدة مرات بين (جـ و ء) ولو أزحنا المرآة قليلاً ليسقط عليها الشعاع بشكل عمودي وبالتالي ينعكس كما هو ويعبر نفس الكرة ويخرج من الفتحة ف وتسقط على المرآة الموشورية ومنها إلى التلسكوب.

ولو افترضنا أن سرعة المرآة الموشورية الدوارة ن دورة في الثانة فإن الزمن الذي يأخذه الضوء ليقطع المسار = $\frac{1}{ن32}$ أو مضاعفات هذا المقدار وبقسمة طول المسار على هذا الزمن نحصل على سرعة الضوء ، وقد وجد من خلال التجارب أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي 2999774 km/s .

رابعا : - معامل الإنكسار - المفهوم الحديث المطور

* إنكسار الضوء

عندما يسير شعاع ضوئي خلال وسط شفاف (كالهواء) ويصل إلى حد فاصل يقود إلى وسط شفاف آخر(كالزجاج)، إنظر الشكل (1) . فإن جزء من الشعاع ينعكس، وجزء ينفذ للوسط الثاني.



والجزء النافذ للوسط الثاني ينحني عند الحاجز ويسمى شعاع منكسر .

← الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر تقع في مستوى واحد مع العمود المقام .

← 1θ ≡ زاوية السقوط ≡ وهي الزاوية ما بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح الفاصل.

← θ_2 ≡ زاوية ا لإنعكاس ≡ وهي الزاوية ما بين الشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح الفاصل .

← $\theta_1 = \theta_2$

← θ_3 = زاوية الإنكسار ≡ وهي الزاوية ما بين الشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل.

← زاوية الإنكسار (θ_2) ، في الشكل (1) يعتمد على خواص الوسطين وعلى زاوية السقوط (θ_1) من خلال العلاقة : –

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_2} = \frac{v_2}{v_1} = \text{constant} \quad ....(1)$$

حيث :– v1 ≡ سرعة الضوء في الوسط الأول .

v2 ≡ سرعة الضوء في الوسط الثاني .

وقد أوجدت هذه العلاقة من خلال العالم سنل ولذلك سميت بقانون سنل.

• قانون الإنكسار.

عندما يمر الضوء من وسط لآخر فإنه ينكسر بسبب اختلاف سرعة الضوء بين الوسطين.

وسرعة الضوء في أي مادة أقل من سرعته في الفراغ . وتبلغ أقصى سرعة له في الفراغ .

ويمكن الآن أن نعرف (معامل الإنكسار) على أنه

$$n = \frac{c}{v} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث : − $C \equiv$ سرعة الضوء في الفراغ

$v \equiv$ سرعة الضوء في الوسط

ونلاحظ من التعريف ما يلي:−

1− معامل الإنكسار لا توجد له وحدة .

2− معامل الإنكسار دائما أكبر من (1) أو يساوي (1) لأن ($v \le c$) دائما.

3− يسمى معامل الإنكسار (n) في هذه الحالة بمعامل الإنكسار المطلق لمادة. لأنها قيست بالنسبة للفراغ .

← ملاحظة : − كلما سار الضوء من وسط لوسط آخر، فإن تردد الضوء لن يتغير ولذلك فالعلاقة ($v = f\lambda$) يجب أن تكون صحيحة لجميع الأوساط.

في الشكل (2) فإن

$f_1 = f_2 = f$

وبتطبيق العلاقة $v = f\lambda$ على الوسطين

الوسط الأول $v_1 = f\lambda_1$ ....(*)

الوسط الثاني $v_2 = f\lambda_2$ ......(4)

ويمكن اشتقاق العلاقة ما بين الأطوال الموجية ومعاملات الإنكسار، ولذلك بقسمة (3) على (4)

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\therefore \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad ....(5)$$

حيث

$n_{12} = \frac{n_1}{n_2}$ معامل الإنكسار النسبي

من خلال العلاقة (5) :-

$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2$$

إذا كان الوسط الأول فراغ (أو هواء) فإن $(n_1 = 1)$ لذلك من خلال العلاقة (5) فإن معامل الإنكسار المطلق لأي وسط يمكن التعبير عنه بالنسبة

$$n = \frac{\lambda_o}{\lambda_n}$$

n = معامل الإنكسار المطلق للوسط .

λo = طول موجة الضوء في الفراغ .

λn = طول موجة الضوء في الوسط الذي معامل انكسارة (n) .

* نحن الآن في وضع يسمى لنا بالتعبير عن قانون سنل الإنكسار في وضع أكثر شيوعا فمن (1)

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{c/n_1}{c/n_2}=\frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{n_2}{n_1}$$

$$\Rightarrow n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

وهذه هي الصيغة الواسعة لقانون سنل للإنكسار .

* ومن الأمثلة على معاملات الإنكسار بالنسبة للفراغ وعند $\lambda_o = 589\ nm$

الماس	= 2.419	الفراغ	= 1.000
الزجاج التاجي	= 1.52	الهواء	= 1.000293
الزجاج الصواني	= 1.66	البنزين	= 1.501
الثلج	= 10309	الفلورايت	= 1.434

أسئلة

1) شعاع ضوئي طول موجته (550nm) يسير في الهواء، ويسقط على شريحة من مادة منفذة . الشعاع الساقط يصنع زاوية مقدارها (40°) مع العمود المقام والشعاع المنكسر يعمل زاوية مقدارها (26°) مع العمود المقام، أوجد معامل إنكسار المادة. وما هو طول موجة الضوء في الهواء.

الحل :

$\theta_1 = 40^\circ \quad , \quad \theta_2 = 26^\circ$

$n_1 = 1 \quad , \quad \lambda o = 550\ nm$

$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$1 \times \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$$n_2 = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

$n_2 = 1.047$

ولإيجاد طول موجة الضوء في المادة نطبق العلاقة

$$n = \frac{\lambda_o}{\lambda_n}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_o}{n}$$

$$\lambda = \frac{550nm}{1.47}$$

$\lambda = 374$ nm .

2) شعاع ضوئي طول موجته (589 nm) يسير خلال الهواء وسقط على شريحة زجاج تاجي بزاوية 30^o مع العمود المقام (انظر الشكل 3)، أوجد زاوية الأنكسار.

الحل:

$n_1 = 1 \quad n_2 = 1.52$ (للزجاج التاجي)

$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1$$

$$\sin \theta_2 = (\frac{1}{1.52}) \sin 30^o)$$

$\sin \theta_2 = 0.329$

$\theta_2 = \sin^{-1} (0.329)$

$\theta_2 = 19.2^o$

3) إذا تحرك الشعاع الضوئي من داخل الزجاج ب

إتجاه الحد الفاصل بين الزجاج والهواء وسقط علـى هـذا الفـاصل بزاويـة مقدارهـا 30° ، فما هي زاوية الإنكسار .

الحل : -

$n_1 = 1.52$

$\theta_1 = 30^o$

$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$\sin \theta_2 = (\frac{n_1}{n_2}) \sin \theta_1$

$\sin \theta_2 = (\frac{1.52}{1}) \sin 30^o$

$\sin \theta_2 = 0.76$

$\theta_2 = \sin^{-1} (0.76) = 49.46$

4) ماذا تستنتج من السؤالين (2) و (3)

الحل : -

إذا سـقط الشعـا ع الضوئـي مـن وسـط لـه n أقـل (أخـف) إلى وسـط لـه n أكـبر (أكثف) فإنه ينكسر مقتربا مـن العمـود المقـام، وإذا سـقط الشعـا ع الضوئـي مـن وسط له n أكبر (أكثر كثافة) إلى وسط له n أقل (وسط أقل كثافة) فإنه ينكسر مبتعدا عن العمود المقام.

5) ضوء طول موجته في الفراغ 589nm يسير خلال قطعة كوارتـز (n = 1.458) أحسب

أ) سرعة الضوء في الكوارتز.

ب) طول موجة ا لضوء في الكوارتز.

جـ) تردد الضوء المار خلال الكوارتز .

الحل : -

$\lambda o = 589$ nm

$n = 1.458$

(أ)

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3\times10^{8}\,m/s}{1.458}$$

v = 2.058 × 108 m/s

(ب)

$$\lambda_n = \frac{\lambda_o}{n}$$

$$\lambda_n = \frac{589nm}{1.458} = 404\ nm$$

(جـ)

$$\lambda\, f = c$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$f = \frac{3\times10^{8}\,m/s}{589\times10^{-9}\,m}$$

$$= 5.09\times10^{14}\ s^{-1} = 5.09\times10^{14}\ HZ$$

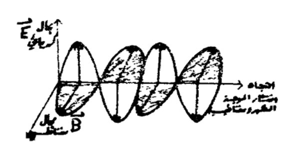
عرفنا سابقا أن التردد لا يتغير خلال انتقاله في الأوساط للذلك بتطبيق القانون على وسط الكوارتز

$$\lambda_n\, f = v$$

$$f = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{2.058\times10^{8}\,m/s}{404\times10^{-9}\,m} = 5.09\times10^{14}\ HZ$$

خامسا : - الطاقة الكهرومغناطيسية

إن الأمواج الكهرومغناطيسية تتألف بشكل عام من مجال كهربائي متذبذب ومجال مغناطيسي متذبذب يكون عموديا على المجال الكهربائي والمجالين متعامدين على اتجاه انتشار الموجة. (انظر الشكل)



حيث E هي المجال الكهربائي

B هي المجال المغناطيسي

* خصائص الأمواج الكهرومغناطيسية

1- هي موجات مستعرضة لأن اتجاه انتشارها عمودي على اتجاه تذبذب المجالين الكهربائي والمغناطيسي .

2- تنتشر بسرعة الضوء في الفراغ وعندما تنتقل إلى وسط مادي تتغير السرعة .

3- لها القدرة على حمل طاقة ونقلها من مكان لآخر.

4– تخضع لعدد من الظواهر مثل التداخل والحيود والاستقطاب.

5– طاقة الأمواج الكهرومغناطيسية موزعة بالتساوي بين المجال الكهربائي والمغناطيسي .

6– تختلف الأمواج الكهرومغناطيسية فيما بينها في أطوالها الموجية وتردداتها ويحكم العلاقة ما بين أطوالها الموجبة وتردداتها ($\lambda f = c$)

7– تشع أو تمتص أو تنفذ من قبل ا لمواد.

8– تخضع لقوانين الإنعكاس والإنكسار.

9– لا تحمل شحنة كهربائية .

10– لا تتأثر بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي .

• الموجات الكهرومغناطيسية المستوية Plane Electromagnetic Waves

يقال عن الموجة الكهرومغناطيسية بأنها موجة مستوية، بمعنى أن المجال الكهربائي يكون في اتجاه، والمجال المغناطيسي في اتجاه معامد عليه، والمجالين متعامدين على اتجاه انتشار الموجة . انظر الشكل (1)

$\vec{E}$ باتجاه y

$\vec{B}$ باتجاه Z

يتغير $\vec{E}$ و $\vec{B}$ مع المسافة × والزمن t وذلك من خلال العلاقات .

$$\vec{E} = E_o \sin (Kx - wt)$$

$$\vec{B} = B_0 \sin(Kx - wt)$$

حيث Eo سعة الموجة الكهربائية و Bo سعة الموجة المغناطيسية

وحسب ما شرح سابقاً فإن : –

$$K = \frac{2\Pi}{\lambda}$$

$$w = 2\,\Pi\, f$$

ومنه

$$\frac{w}{k} = \frac{2\Pi f}{2\Pi/\lambda} = \lambda\, f = c$$

وأيضاً

$$\frac{E}{B} = \frac{E_0}{B_0} = C$$

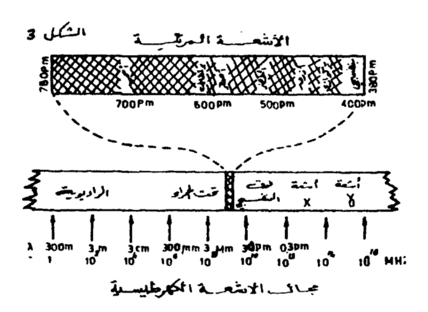
*** الطيف الكهرومغناطيسي The Electromagnetic Spectrum**

إن الأمواج الكهرومغناطيسية تسير في الفراغ بسرعة الضوء (c)، وتحمل معها طاقة وكمية تحرك من المصدر للمستقبل.

كما في القديم تعرف فقط الأشعة المرئية وأمواج الراديو، لكن اكتشف فيما بعد عدة أشكال من الأمواج الكهرومغناطيسية. ويمكن تمييزها عن بعضها بواسطة التردد وطول الموجة حيث : –

$$c = \lambda\, f$$

إنظر الشكل (3)



كل أشكال الطيف الكهرومغناطيسي تنتج من تسريع الشحنات وهذه الأشكال هي:-

1 - أمواج الراديو Radio waves

* انتاجها : - تنتج عن الشحنات المتسارعة خلال أسلاك التوصيل، وينتج عن أجهزة الكترونية .

* الترددات : - انظر الشكل (3) ، والتردد النموذجي لأمواج الراديو هو 5MHZ فيكون الطول الموجي

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times 10^{8} m/s}{5\times 10^{6} 1/s} = 60\ \mathrm{m}$$

* استخداماتها: تستخدم في أنظمة الإتصالات للتلفاز والراديو.

2) أمواج الميكرويف:- Microwaves

* وهي عبارة عن أمواج راديو ذات طول موجي قصير .

* إنتاجها: – بواسطة أجهزة الكترونية .

* أطوالها الموجية :– تتراوح ما بين (1mm - 30 cm)

* الترددات :– تتراوح ما بين (3×10^{11} HZ - 10^{9} HZ)

* استخداماتها: – أمواجها القصيرة مفيدة في أنظمة الرادار المختلفة وفي دراسة الخواص الذرية والجزئية للمواد.

3) الأمواج تحت الحمراء :- Infrared waves

* وتسمى الأمواج الحرارية .

* الأطوال الموجية : – من (1mm - 7×10^{-7} m)

* إنتاجها :– تنتج عن الأجسام الساخنة والجزيئيات وينتج بوفرة من الشمس. وقد اكتشف لأول مرة عام 1800 بواسطة ويليام هيرشيل.

* طاقتها الإشعاعية عند امتصاصها تظهر كحرارة . لأن طاقتها تعمل على إثارة ذرات الجسم وتزيد من حركتها الاهتزازية أو الإنتقالية وهذا يزيد من حرارتها.

* الطيف لهذا الجزء متصل مثل الجزء المرئي ولكنه يحتوي بعض الخطوط السوداء التي لا يوجد عندها تأثير حراري .

4) الضوء المرئي Visible Light

وهذا هو الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، وهو الذي يثير حاسة الإبصار عند الإنسان. والأطوال الموجية المختلفة للضوء المرئي توصف بالألوان، وهي تمتد من اللون البنفسجي ذو الطول ا لموجي ($\lambda = 4 \times 10^{-7}$ m) إلى اللون الأحمر ذو الطول الموجية ($\lambda = 7\times 10^{-7}$m) وحساسية العين تعتمد على طول الموجة وهذه الحاسية أعظم ما تكون عند طول الموجة ($\lambda = 5.6 \times 10^{-7}$m) أي عند اللون الأصفر المخضر.

وسنأتي إلى تفصيل هذا الجزء في مكان آخر إن شاء الله.

5) الأمواج فوق البنفسجية Ultraviolet waves

أطوال أمواجها:— ما بين (3.8×10^{-7} m - 6×10^{-8} m)

* إنتاجها :— أهم مصدر لها هو الشمس. وهناك مصادر صناعية لها مثل اللمبات القوسة ذات الكترونات الحديدية أو من الكربون.

كذلك لمبات بخار الزئبق وأنابيب التفريغ. وكان بداية اكتشافها بواسطة العالم ريير عام 1801.

* الأمواج فوق البنفسجية تنعكس كما ينعكس الضوء المرئي ... وقد وجد مثلا أن معدن الفضة يعكس 95٪ من الضوء المرئي بينما يعكس 4٪ من الفوق بنفسجية لذلك تعتبر فلترات جيدة لتمرير الأمواج الفوق بينفسجية ومن المعادن الأخرى التي تعمل نفس الشئ هي النيكل والمغنيسيوم.

التأثير الكهروضوئي للأشعة البنفسجية: أيضا يوجد للأشعة فوق البنفسجية تأثيرا كهروضوئيا كما في حالة الأشعة تحت الحمراء.

ومن التأثيرات والتطبيقات الأخرى على هذه الأشعة :-

* فإن الأشعة فوق البنفسجية ما بين 2000 A° - 3000A° نشيطة جدا بيولوجيا فهي تقتل البكتيريا.

* كذلك يوجد تطبيقات طبية لهذا الأشعة وهي ضرورية في تكوين فيتامين D في الجلد، ومفيدة للعظام . ولكن التعرض الزائد لها يسبب احمرار البشرة وأمراضا مثل سرطان الجلد.

* كذلك فإن معظم الأمواج الفوق بنفسجية تمتص من ذرات من الطبقة الخارجة للغلاف الجوي المسماة (الستراتوسفير). وأحد مكونات الستراتوسفير هو الأوزون (O_3) ويتألف من تفاعلات الأكسجين مع الأمواج فوق البنفسجية وتحويل ال UV لحرارة .

6) الأشعة السينية :-

* أطوالها الموجية مابين (10^{-13} m - 10^{-8} m)

* مصدرها : — هو بإبطاء الالكترونات عالية الطاقة وجعلها تصطدم بحاجز معدني.

* تستعمل بشكل كبير في الطب وتشخيص الأمراض .

7) أشعة جاما :-

* أطوالها الموجية من 10^{-14} m - 10^{-16} m

* تنتج عن الجسيمات المشعة مثل Co^{60} و $C_2{}^{137}$ ومن خلال تفاعلات كيميائية.

* وهي شديدة الاحتراق ومدمرة للخلايا الحية .

* تستخدم في الطب في تشخيص الأمراض .

سادسا : - قياس الإشعاع radiometry

نعني في قياس الإشعاع قياس الطاقة الكهرومغناطيسية بغض النظر عن إمكان رؤيتنا لها. وعلى خلاف ذلك فإن القياس الضوئي يحصر في ذلك الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي تدركه عين الإنسان كإحساس بالضوء. أما قياس الإشعاع فهو الحالة الأكثر عموما.

* إصطلاحات

1- الطاقة الإشعاعية radiant Energy

تعريفها : – هي الطاقة المنتقلة في صورة أمواج كهرومغناطيسية .

رمزها : – Q أو E

وحدتها :– الجول ≡ Joule ≡ J

2- كثافة الطاقة الإشعاعية radiant energy density

تعريفها : – هي الطاقة الإشعاعية لكل وحدة حجم .

رمزها : – W

وحدتها J/m^3

3- الفيض الإشعاعي (القدرة الإشعاعية) Radiant flux

تعريفها : – هي الطاقة الإشعاعية المنقولة في وحدة الزمن .

رمزها:– Ø

وحدتها :– الواط ≡ watt ≡ W

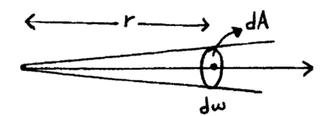
4) الشدة الإشعاعية Radiant intensity

تعريفها: – هو القدرة الإشعاعية لمصدر نقطي لوحدة الزاوية المجسمة .

رمزها:– I

وحدتها : – واط / ستيراديان ≡ (W / sr)

ووحدة الزاوية المجسمة أو sr وهي الزاوية عند مركز الكرة التي نصف قطرها (1م) والتي تقابل على سطح الكرة مساحة مقدارها ($1م^2$)



5) الإشعاعية Radiance

تعريفها : – هي القدرة الإشعاعية التي تغادر سطحا ما لوحدة الزاوية المجسمة ولوحدة المساحة المسقطة من ذلك السطح: –

$$\text{الإشعاعية} = \frac{\text{القدرة}}{\text{الزاوية المجسمة} \times \text{المساحة}} = \frac{\text{الشدة}}{\text{المساحة}}$$

رمزها : L

وحدتها : واط / $م^2$ – ستيراديات ≡ $W / S\,r.m^2$

6) الإنشعاعية Irradiance

تعريفها: – هي القدرة الإشعاعية الساقطة على وحدة المساحة من سطح ما .

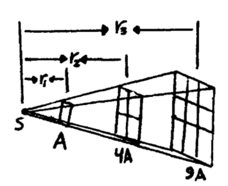
$$\text{الإنشعاعية} = \frac{\text{القدرة الإشعاعية}}{\text{المساحة}}$$

رمزها : – E

وحدتها : – واط / م 2 ≡ W / m^2

وينتج مقدار الإشعاعية من مصدر نقطي قانون التربيع العكسي .

$$E \, \alpha \, \frac{1}{r^2}$$



صور بلانك بأن الطاقة الكهرمغناطيسية الممتصة أو المشعة تكون على شكل كمات منفصلة كل منها له طاقة من مقدار محدد، وقد سمي هذا الكم بكوانتم الطاقة أو الكوانتم للإختصاد .

وقد وجد أن طاقة الكوانتم هي مضاعف صحيح للتردد .

$$E = h\,f$$

حيث : –

E : الطاقة

h : الثابت ويسمى ثابت بلانك ويساوي 6.525×10^{-34} J.s

f : التردد

ووحدة الطاقة هي (بالجول J) وقد تكون أيضا (بالالكترون فولت ev)

حيث:–

$$1\ \text{eV} = \frac{1.6602}{1.6602} \times 10^{-19}\ \text{J}$$

طاقة الكوانتم (بالالكترون فولت) لمناطق مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي.

فوق الحمراء $\rightarrow 1\ \text{e V}$

المرئي $\rightarrow 205\ \text{e V}$

فوق البنفسجي $\rightarrow 5\ \text{e V}$

الأشعة السينية $\rightarrow 10^{4}\ \text{eV}$

أشعة جاما $\rightarrow 10^{7}\ \text{eV}$

مثال : – ما هي الطاقة المحمولة مع فوتون ضوئي تردده (6 × 10-14 HZ) ؟ وما هي طول الموجة ؟

الحل : –

$$E = h\,f$$

$$= (6.626\times 10^{-34}\ \text{J.s})\ \ (6 \times 10^{-14}\ \frac{1}{s})$$

$= 3.98 \times 10^{-47}$ J

$c = \lambda f$

$\lambda = \frac{c}{f}$

$= \frac{3 \times 10^{8} m/s}{6 \times 10^{14} 1/s}$

$\lambda = 500 \times 10^{-9}$ m = 500 nm .

مثال : أمواج FM لها قدرة 150Kw وتعمل على تردد (99.7MHZ) . كم عدد الفوتونات بالثانية التي يبثها المرسل.

الحل : -

الطاقة الكلية للفوتونات هي الثانية:

$E = 150 \times 10^{3}$ W $= 150 \times 10^{3} \frac{J}{s}$

طاقة الفوتون الواحد هي

$E = hf$

$= (6.62 \times 10^{-34}$ J.s) $(99.7 \times 106 \frac{1}{2})$

$= 6.6 \times 10^{-26}$ J

عدد الفوتونات في الثانية= الطاقة الكلية للفوتونات في الثانية / طاقة الفوتون

$\frac{150 \times 10^{3} J/s}{6.6 \times 10^{126} J} =$

$2.27 \times 10^{30} \frac{photon}{s} =$

الوحدة الثانية

الاضاءة وقياس الضـوء

الوحدة الثانية : الاضاءة وقياس الضوء

أولا : - قياس الضوء المرئي Photometry

سبق وأن درسنا قياس الإشعاع (Radiometry) . حيث تنطبق الألفاظ الخاصة بالقياس الإشعاعي على كل أجزاء الطيف الكهرومغناطيسي.

ويوجد تعابير خاصة بالقياس الضوئي تنطبق على جزئه المرئي فقط. وإذا ما رغبنا في تحويل القيم الخاصة بالقياس الإشعاعي إلى قيم خاصة بالقياس الضوئي أو عكس ذلك، وجب علينا أن نأخذ بعين الاعتبار وضوح الرؤية النسبي للضوء ذي الطول الموجي المعين Visibility إن المنحنى الناتج (الشكل 1) هو منحنى فعالية السطوع أو فعالية الإضاءة ومصطلحها الأجنبي luminous efficiency

تعريف نسبة وحدة القياس الضوئي إلى وحدة القياس الإشعاعي المكافئة لها بتأثير السطوع .

وتمثل ذروة المنحنى ($\lambda = 550$ nm) الطول الموجي الذي تبلغ عنده حساسية العين اقصاها ولذا فهي نقطة الوضوح الأقصى أو هي تأثيرية السطوح (الإضاءة) الأقصى للرؤية البصرية.

واللون عند ($\lambda = 550$nm) هو اللون الأصفر المخضر.

والعلاقة ما بين وحدة القياس الضوئي ووحدة القياس الإشعاعي كما هو واضح من الرسم بأن : –

1) وحدة القياس الضوئي = تأثيرية الإضاءة × وحدة القياس الإشعاعي.

2) تأثيرية الإضاءة = 685 × فعالية الإضاءة .

1) طاقة الإضاءة (طاقة السطوع) **Luminous Energy**

* رمزها ← **W**

* وحدته هي (التالبوت) ← talbot

2) التدفق الضوئي ، قدرة الإضاءة (السطوع) ، فيض الإضاءة (السطوع) Luminous flux

إن التدفق الضوئي أو فيض الإضاءة :- هي كمية القدرة الإشعاعية التي تنتج إحساسا بصريا لدى الملاحظ الإنسان.

وهي كمية الطاقة المارة من خلال سطح في وحدة الزمن

* الرمز ← $\varnothing$

* وحدة قدرة الإضاءة ← اللومن Lumen

واختصارها لم Lm

وتكافئ اللومن الواحد عند الطول الموجي (λ=555nm) ، ما يعادل $\frac{1}{685}$ (watt) إي أن ← (1 watt = 685 Lm) بحسب الرسم (1)

ولكي نستخدم هذا التحويل في أي موقع في الطيف المرئي، فلا بدّ من إدخال تأثيرية الإضاءة المناسبة . ونتنج المعادلات

والتدفق الضوئي هي اللفظ الرئيس في كلّ القياس الضوئي وتوفرٍ لنا وحدتها اللومن جنبا إلى جنب مع المتر والستيراديات (وحدة الزاوية ماالمجسمة) أساساً سليماً لبناء نظام بسيط منطقي متناسق من الألفاظ والوحدات الخاصة بقياس الضوء.

3) شدة الإضاءة ← 1 كانديلات ≡ Candela

اختصارها 1 c d

$$1 \text{ candela} = \frac{1\text{Lumen}}{1\text{Steridian}}$$

* ملاحظات

نفرض أن مصدر نقطي يقع عمودي فوق سطح المسافة بين السطح والمصدر هي (R) مسافة السطح (A)

الزاوية المجسمة هي (w) وتساوي

$$w = \frac{A}{r^2}$$

* إذا لم تعطى المساحة ولا المسافة وكان هناك زاوية ∝ كما في الشكل (2) فإن (w) تساوي

$$w = 2\Pi (1- \cos \propto)$$

والشدة تساوي : –

$$I = \frac{\varnothing}{w}$$

$$\varnothing = w\, I$$

وفي حالة التدفق الكلي (التدفق في جميع الاتجاهات) ≡ $\varnothing o$

$$w = 4\Pi$$

$$\varnothing o = 4\Pi\, I$$

في جميع الاتجاهات

$$\Pi = \propto$$

$$w = 2\Pi (1 - \cos\Pi)$$

$$w = 2\Pi\ (1 - \cos\Pi)$$
$$w = 2\ \Pi\ (1 - (-1))$$
$$w = 4\Pi$$

4) الاستضاءة Illuminance

* تعرّف على أنها تدفق الضوء الساقط على وحدة المسافة من السطح المضاء .

* رمزها ← E ⇐ $E = \frac{\varnothing}{A}$

* الوحدة ← اللوكس ≡ Lux

$$1\ Lux = \frac{1 Lum}{m^2}$$

* هناك وحدات أخرى للإستضاءة ، قلّت قيمتها:-

* الفوت :- الومن / سم2

* الشمعة القدمية :- لفظ غير مناسب يبدو أنه يدلُّ على أن شدة السطوع بالشمعات يجب أن تضرب في المسافة بدلاً من الدلالة على أن هذه الوحدة هي استضاءة سطح يبعد وحدة المسافة عن مصدر نقطي شدة سطوعه تساوي كانديلا واحدا . وتساوي الشمعة القدمية 10،7639 لم / م2 .

* ملاحظات :

$$E = \frac{\varnothing}{A}$$
$$\varnothing = I \cdot w$$
$$w = \frac{A}{r^2} \Rightarrow A = w \cdot r2$$
$$E = \frac{I.W}{W.r^2} = \frac{I}{r^2}$$

$$E = \frac{I}{r^2}$$

القانون السابق هو في حالة سقوط الضوء على سطح بشكل عمودي ولكن إذا سقط الضوء بحيث يعمل زاوية θ مع العمودي فإن الإضاءة E تساوي

$$E = \frac{I}{r^2} \cos\theta$$

5) اللمعانية Luminance

* وهو لفظ القياس الضوئي المناظر للإشعاعية .

* وهي الشدة الضوئية لكل وحدة مساحة .

* الوحدة ← $1\ cd/m^2$

وهناك وحدات أخرى غير لازمة .

– ستيلب stilb = كانديلا / سم2 .

– الأبوستلب = 0،9 مليلامبرت .

– الأمبرت = $\frac{1}{\Pi}$ كنديلا / سم 2.

– قدم – لامبرت = $\frac{1}{\Pi}$ شمعة / قدم 2 .

– سكت scot = 10 أبو ستلب .

أمثلة

مثال (1) :

أوجد التدفق الضوئي على سطح كروي مساحتة $0.2m^2$ وبعد المصدر الضوئي عن المركز يساوي 5m وكانت شدة الإضاءة تساوي 800 cd .

$\varnothing = I.w$

$w = \frac{A}{r^2}$

$w = \frac{0.2}{5} = 0.004\ sr$

$\varnothing = 800 \times\ 0.04$

$\varnothing = 32\ Lm$

مثال (2) خلية كهروضوئية تقيس الضوء من خلال ثقب أبعاده , 40 mm) 15mm) .. تدفق الضوء (0.2 Lumen) ما هي أقصى مسافة مابين مصدر الضوء النقطي وثقب الخلية (شدة الإضاءة 50 cd)

$\varnothing\ = 0.2\ Lm \quad I = 50\ cd$

$A = 40 \times 10^{-3}\ m\ \ \times 15 \times 10^{-3} = 6 \times 10^{-4}$

$\varnothing = I\ .w$

$w = \frac{I}{\varnothing}$

$w = \frac{0.2}{50}\ = 4 \times 10^{-3}$

$w = \frac{A}{r^2}$

$r^2 = \frac{A}{w} = \frac{6 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-3}} = 0.15\ m^2$

$r = 0.387\ m$

مثال (3) مصدر نقطي للضوء بعده (2m) عن شاشة حيث يوجد في الشاشة ثقب دائري له قطر (10 cm) ...الشاشة بزاوية قائمة للخط الذي يضم مركز الثقب والمصدر وجد أن 0.05 lumen للتدقيق الضوئي من المصدر تمر خلال الثقب

أ) ما هي الزاوية المجسمة بالستيراراديات .

ب) شدة المصدر في اتجاه الثقب .

جـ) إدا كان المصدر يشع في جميع الاتجاهات ، أوجد العدد الكلي من اللومن الـتي يشعها.

$r = 2\ m$

$A = (5 \times 10^{-2})^2 \times 3.14$ (مســـاحة دائـــرة)

$A = 7.85 \times 10^{-3}\ m^2$

$\varnothing = 0.05$ Luman

أ) ؟ = w

$$w = \frac{A}{r^2}$$

$$w = \frac{7.85 \times 10^{-3}}{(2)^2} = 1.96 \times 10^{-3}\ Sr$$

ب) ? =I

$$I = \frac{\varnothing}{A}$$

$$I = \frac{0.05}{7.85 \times 10^{-3}}$$

$= 6.369$ cd

$\varnothing_o = 4 \prod I$

$\varnothing o = 4 \times 3.14 \times 60369$

$= 80$ Lm .

مثال (4) أوجد أي مسافة من حاجز سـوف يعطـي مصبـاح قوتـه cd 30 نفـس الإضاءة التي يحدثها مصباح قوته 80 على بعد 6m من الحاجز

$I_1 = 30$ cd $r_1 = ?$

$I_2 = 80$ cd $r_2 = 6m$.

$E_1 = E_2$ نفس الإضاءة

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}$$

$I_1 \, . \, r_2^2 = I_2 \, . \, r_1^2$

$r_1^2 = \frac{I_1 . r_2^2}{I_2}$

$r_1^2 = \frac{30 \times 36}{80}$

$r_1 = m. \rightarrow r_1 = 3.67m$

مثال (5) خلية كهروضوئية تقيس الإضاءة التي تستقبلها من الشمس علما بأنها تساوي 105 Lux إذا كانت المسافة ما بين الأرض والشمس هي (1.5×10^{11}m) أوجد شدة إضاءة الشمس

E = 105 Lux

r = 1.5 × 10 11 m

I = ??

$E = \frac{I}{r^2}$

$I = r^2 . E$

$= (1.5 \times 10^{11})^2 (105)$

$= 2.25 \times 10^{27}$ cd .

مثال (6) ما هي شمعة الإضاءة لمصباح تنجستن قدرته الكلية (200w) كفائته 18L/w

P = 200 w

N = 18 L/w

$\varnothing o = 4\Pi I$

$I = \frac{\varnothing_o}{4\Pi} = \frac{3600Lm}{4 \times 3.14}$

مثال (7) مصباح قدرته (p = 50 w) .. كفائته (N= 15L/w) على أي بعد من المصباح تكون الإضاءة أكبر ما يمكن وتساوي 2Lux

E = 2 Lx

$N = 15L/w$

$\varnothing = P.N = 50\ w \times 15\ \dfrac{Lm}{w}$

$= 750\ Lm . = \varnothing_o$

$E = \dfrac{I}{r^2} \Rightarrow r^2 = \dfrac{I}{E}$

$r^2 = \dfrac{59.7cd}{2} = 29.85\ m^2$

$r = 5.46m$

مثال (8) : أوجد الإضاءة على سطح يبعد 3m عن مصدر ضوئي شدته 130cd .

أ– إذا كان السطح عمودي على اتجاه الضوء

ب– إذا كان العمودي على السطح يصنع زاوية مقدراها 20° مع أشعة الضوء

$E = ?$

$I = 130\ cd$

$E = \dfrac{I}{r^2}$

أ)

$E = \dfrac{130}{(3)^2} = 14.44\ Lx$

ب)

$E = \dfrac{I}{(r_1)^2}\ \cos\theta$

نريد r_1

$\cos\theta = \dfrac{r}{r_1}$

$r_1 = \dfrac{r}{\cos\theta}$

$r_1 = \dfrac{3}{\cos 20}$

$r_1 = 3.193$

$$E = \frac{I}{(3.193)^2} \cos 20$$

$$E = \frac{130\cos 20}{(3.193)^2}$$

$= 11.982$ Lx .

مثال (9)

أ) أوجد الإضاءة عند مركز طاولة مستديرة نصف قطرها (1m)

ب) وعند حافتها إذا علق مصدر ضوئي شدته 200 cd على بعد 3m فوق مركزها.

أ)

$$E = \frac{I}{r^2}$$

$$E = \frac{200}{(3)^2}$$

$= 22$ Lx

ب)

$$E \ \frac{I}{(r_1)^2} \cos\theta$$

$r_1^2 = 1^2 + 3^2$

$r_1^2 = 10 \rightarrow r_1 = s\ \sqrt{10} = 3.16$ m

$$\sin\theta = \frac{1}{3}$$

$\theta = 19^\circ$

$$E = \frac{200}{(93.16)^2} \times \cos 19 = 18.81 \text{ x}$$

أسئلة منوعة

س1 : مصدر ضوئي شدته (55cd) ، جد الاستضاءة الحادثة على ستارة تبعد (2.2m) تبعد بافتراض السقوط العمودي .

$$E = \frac{I}{r^2}$$

$$E = \frac{55}{(2.2)^2} \ 11.364 \ Lx$$

س2: يستقبل وسط الشارع المنبسط الضوء من مصباحين كل منهما 200cd محمولين على عمودين طول كل منهما 14m ويبعدان عن بعضهما (60m) جد الاستضاءة في وسط الشارع .

E_1 ≡ الاستضاءة القادمة من المصدر أ نحو وسط الشارع .

E_2 ≡ الاستضاءة القادمة من المصدر ب نحو وسط الشارع .

E ≡ الاستضاءة الكلية في وسط الشارع.

$$E = E_1 + E_2$$

$$E_1 = \frac{I}{(r_1)^2} \ \cos\theta$$

$$r_1^2 = (30)2 + (14)2$$

$$r_1^2 = 1096 \ m2$$

$$r_1 = 33.11 \ m$$

$$\cos\theta = \frac{14}{33.11} = 0.4228$$

$$E_1 = \frac{2000}{1096} \times 0.4228$$

$E_1 = 0.772\ Lx$

$E_1 = E_2$

$E_2 = 0.772\ Lx$

$E = E_1 + E_2$

$E = 0.722\ Lx + 0.722\ Lx$

$= 1.444\ Lx$

س3 : يبعد مصدر ضوئي لعانيته (16 cd /m2) مسافة (90.5m عن ثقب ستارة (مساحة الثقب ($0.2m^2$) ويحدث عليها الاستضاءة نفسها التي يحدثها مصباح مجهول اللمعانية موضوع على بعد 80 cm من الثقب ..احسب لمعانية هذا المصباح.

ج3 : لنأخذ المصدر الأول

$$B = 16\ \frac{cd}{m^2}$$

$$I_1 = 16\ \frac{cd}{m^2} \times 0.2\ m^2$$

$I_1 = 3.2\ cd$

$r_1 = 0.5\ m$

$$E_1 = \frac{I_1}{(r_1)^2} = \frac{3.2}{(0.5)^2}$$

$= 12.8\ Lx$

$E_1 = E_2$

$E_2 = 12.8\ Lx$

$$E_1 = \frac{I_1}{(r_2)^2} \quad r_2 = 0.8m$$

$$12.8 = \frac{I_2}{(0.8)^2}$$

$I_2 = (12.8)\ (0.8)^2$

$= 8.192\ Lx$

ثانيا : مقاييس الإضاءة (الفوتوميترات)

هي مقاييس تستعمل لقياس شدة الإضاءة للمصادر الضوئية، وتعتمد على مقارنة شدتي إستضاءة سطح معين بمصدرين أحدهما معياري.

وتعتمد فكرته بأنه إذا تساوت شدتي الاستضاءة لسطح مضاء بمصدرين شدتي إضاءتها I_2, I_1 حيث أحدهما معروف الشدة وكانا على بعد r_1 و r_2 على التوالي من السطح المضاء نطبق مبدأ أن

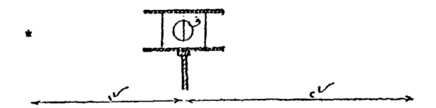
E1 =E2

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}$$

ومن خلالها يمكن معرفة شدة استضاءة المصدر المجهول الشدة .ومن أنواعه .

أ- مقياس الإضاءة ذو مكعب الشمع (فوتوميز جولي)

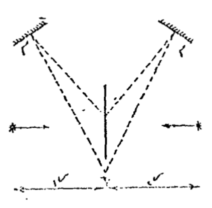
يتكون من مكعب من الشمع يقسمه من المنتصف ورقة قصدير موضوع داخل صندوق جانبية مفتوحين إنظر الشكل



يوضع المصدران المعياري والذي يراد إيجاد شدته كل واحد على جهة ...ويثبت المصدران بينما نبدأ بتحريك المكعب بوساطة مقبض حتى نحصل على استضاءة متساوية على نصفي المكعب الشمعي وعندها نتوقف عن تحريك الفوتوميتر وعندها نقيس المسافة r_1 و r_2 و عندها تعرف شدة المصدر المجهول الشدة بواسطة العلاقة

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}$$

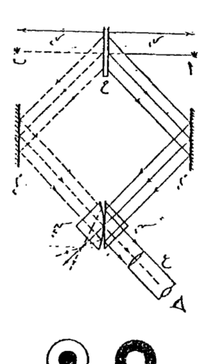
ب- مقياس الإضاءة ذو بقعة الشمع (مقياس بنزن)



عندما توضع بقعة شمع على ورقة فإنها تختفي إذا تساوت أشعة الضوء الساقطة عليها من جميع الجهات .

نضع الورقة وعليها قطعة الشمع بين المصدر المراد إيجاد شدته والمصدر المعياري نحرك المقياس بينهما حتى تختفي الصورة ، نقيس r_1 و r_2 ونحسب شدة المصدر المجهول حسب العلاقة السابقة

جـ- مقياس الضوء ذو الموشورين .



يسقط الضوء من مصدرين أ و ب على حائل نصف شفاف ..حيث الضوء القادم من المصدر (أ) يسقط الحائل وينعكس إلى م1 وعندها ينعكس لينفذ في الوجه القائم لمنشور سن 1 الجزء الملتصق من الموشور سن مع الموشور سن 2 هو المنفذ فقط للضوء. الأشعة القادمة من ب تتبع المسار الموضح بالشكل وعند النظر بالعين في عينية الجهاز نرى دائرة مضيئة في وسطها دائرة أخرى مختلفة في شدة الاستضاءة. فإذا أضيء المصباح (ب) لوحده يبدو في العينة دائرة معتمة وسطها مضيء . وعند تساوي شدتي استضاءة سطحي الحائل يبدو مجال الرؤية مضيئا بشدة استضاءة واحدة وهذا يحصل بتغيير r_1 و r_2 وعندها نحسب العلاقة

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}$$

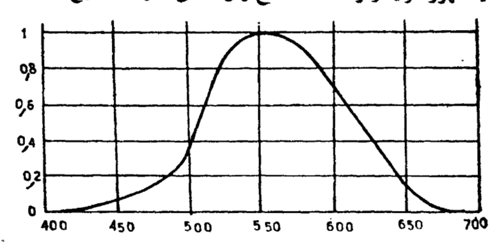
الفوتومترات الكهروضوئية

وهي فوتوميترات تعتمد على الظاهرة الكهروضوئية (أي ظاهرة تحويل بعض السطوح للضوء الساقط عليها إلى تيار كهربائي)

ولكي نستعمل الخلايا الكهروضوئية كمقاييس للضوء يجب توفر ما يلي فيها.

أ- تستجيب للضوء بنفس الطريقة التي تستجيب فيها العين له .

ب- تعمل المقياسات الكهروضوئية للفيض الضوئي أو اللمعانية باستخدام مجموعة من خلية كهروضوئية ومرشحات تصحح وفق منحنى تأثيرية السطوع .



جـ- أن لا تتغير من يوم لآخر .

* مكوناتها:

- خلية كهروضوئية .

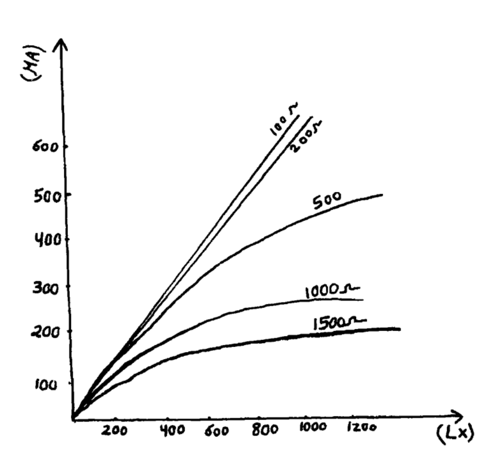
- مرشحة (فلتر) لامتصاص الأشعة غير المرئية .

- منظومة بصرية تتألف من عدسات بسيطة أو تلسكوب أو ميكروسكوب أو كرة مكاملة .

* مبدأ العمل :-

تعطي الخلية الكهروضوئية تيارا يتناسب مع الفيض الكلي الساقط عليها ويمكن تعيير المقياس بدلالة اللمعانية (cd/m2) أو بدلالة التدفق الضوئي (Lm) أو شدة الضوء (cd).

الشكل (7) يمثل العلاقة ما بين الاستضاءة بال (Lx) وشدة التيار الكهربائي الذي تنتجه الخلية الكهروضوئية بال(MA) لعدة مصادر ضوئية مختلفة بمقاوماتها.



* أسئلة منوعة

س1: وضع على جانبي شاشة في فوتوميتر مصدرين ضوئيين أحدهما على بعد (30cm) وشدة إضائتة (80cd) و الثاني على بعد (8cm) وشدة إضائتة (45cd) في أي جانب وعلى أي بعد يجب أن يوضح مصدر ضوئي آخر شدة إضائته (50cd) في وقت تساوي استضاءة سطحي الفوتوميتر.

$I_1 = 80$ cd , $r_1 = 30$ cm $= 0.3$m

$I_2 = 45$cd , $r_2 = 0.08$ m.

$I_3 = 50$ cd , $r_3 = ?$

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2} = 888.9 \text{ Lx}$$

$$E_2 = \frac{I_2}{r_2^2} = 7031.25 \text{ Lx}$$

عند تساوي الإضاءة على جانبي الفوتوميتر يجب أن يكون المصدر الثالث عند جانب المصدر الأول لأن إضاءته أقل من إضاءة المصدر الثاني .

عند تساوي افضاءة على جانبي الفوتوميتر

$$E_1 + E_3 = E_2$$

$$E_3 = E_2 - E_1$$

$$E_3 = 7031.25 - 888.9$$

$$E_3 = 6142.4 \text{ Lx}$$

$$E_3 = \frac{I_3}{r_3^2}$$

$r_3^2 = \frac{I_3}{E_3}$

$r_3^2 = \frac{50}{6142.4}$

$r_3^2 = 9.14 \times 10^{-3} m$

$r_3 = 0.09\ m = 9cm$.

س2: وضع مصدران ضوئيـان أحدهمـا يعطـي (25 cd) والآخـر يعطـي (100cd) بحيث يبعد عن بعضهما مسافة متر واحد أين ينبغي وضـع ستارة فوتوميـتر البقعـة الدهنية لبنزن تتساوى استضاءة وجهي الستارة .

$I1 = 25\ cd \quad , r1 = ?$

$I2 = 100\ cd \quad , r2 = 1\text{-}r1$

$E1 = E2$

$\frac{I_1}{(r_1^2)} = \frac{I_2}{(1-r_1)^2}$

$\frac{25}{r_1^2} = \frac{100}{1-2r_1+r_1^2}$

$25 - 50\ r_1 + 25\ r_1^2 = 100\ r_1^2$

$25 - 50\ r_1 = 75\ r_1^2$

$75\ r_1^2 + 2r_1 - 1 = 0$

$(3r_1 - 1)(r_1 + 1) = 0$

$3r_1 - 1 = 0 \quad \Rightarrow 3r_1 = 1 \Rightarrow r_1 = \frac{1}{3}\ m$

$r_1 + 1 = 0 \quad \Rightarrow r1 = -1$ تلغي

$r2 = 1 - r_1 = 1 - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}\ m$

تكون الستارة على بعد $(\frac{1}{3}m)$ عن (s1) و $(\frac{2}{3}m)$ عن (s2)

المصادر الممتدة

كل ما تحدثنا عنه سابقا كان من المصادر النقطية ولكن ماذا لو كانت هذه المصارد الضوئية ممتدة ...عندئذ يجب الأخذ بعين الاعتبار شكل المصدر وإذا شـع المصـدر عبر فتحة دائرية لا يمكن التغاضي عن قطرها بالمقارنة مع المسافة من الستارة .

أولا :- تصبح الاستضاءة في المصادر الممتدة كما يلي.

$$E = \frac{\Pi r^2 I}{r^2 + d^2}$$

حيث E :- الاستضاءة

I :- الشدة

d :- المسافة بين المصدر الضوئي والسطح المضاءة

r :- نصف قطر المصدر الضوئي الدائري .

ثانيا: - في حالة الفوتوميترات

عندما تكون المصدرين الضوئين في حالة الفوتوميترات ممتدان فإنه يكون هناك هذه العلاقة

$$\frac{B_1}{B_1} = \frac{r_1}{r_2}$$

حيث B_1 :- لمعانية المصدر الضوئي الممتد الأول .

B_2 :- لمعانية المصدر الضوئي الممتد الثاني .

r_1 :- المسافة بين المصدر الضوئي الممتد الأول والستارة .

r_2 :- المسافة بين المصدر الضوئي الممتد الثاني والستارة.

ثالثا : - مصادر الضوء

1) مصادر الضوء الطبيعية .

2) مصادر الضوء الصناعية .

1) مصارد الضوء الطبيعية :-

وتتمثل في أشعة الشمس ..... والشمس يمكن اعتبارها كجسم أسود بدرجة حرارة (6000k) عند المركز و (5000k) عند السطح ، لكن الأشعة الواصلة لسطح الأرض تخفف بواسطة الامتصاص في الغلاف الجوي للأرض....

2) مصادر الضوء الصناعية : -

أ) الليزر LASER

كلمة ليزر (Laser) هي عبارة عن الأحرف الأولى للكلمات في الجملة التالية:-

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radition)

وجهاز الليزر جهاز بصري يعتمد على ظاهرة الانبعاث المحفز للحصول على الضوء. ومعنى الجملة السابقة (تكبير الضوء عن طريق الانبعاث المحفز (المحرض) للأشعة)

ب- المصابيح الكهربائية

تعريفها :-

هي أداة تعمل على مبدأ (تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية) وذلك عن طريق مرور تيار كهربائي عبر وسط مما يؤدي لتسخينه إلى درجات حرارة عالية وتوهجها.

* أغراضها:-

1 - الإنارة .

2- الاستخدامات البصرية

3- السينما والتصوير

4- الحصول على إشارات ضوئية

* سبب تنوع المصابيح

هو الغرض المراد منها وأداؤها

* أقسام المصابيح الكهربائية

1- مصابيح فتيلية

2- مصابيح التفريغ الغازي

* 1- المصابيح الفتيلية :-

* الشروط الواجب توافرها في المصابيح الفتيلية :-

1- درجة انصهار الفتيل لها عالية.

2- ضغط بخار منخفض .

3- خصائص إشعاع مناسبة ومقاومة كهربائية مناسبة .

* الأمثلة على المصابيح الفتيلية

أ- مصابيح التنجستن:-

وجد أن الشروط السابقة الذكر متوفرة في مادة التنجستن ولهذا شاع استعمال

هذه المادة في المصابيح الكهربائية .

* مكوناته

1- فتيل تنجستن

2- قاعدة نحاسية

3- زجاج

4- حجم مفرغ

* خواص مصابيح التنجستن

1- مفرغة تماما لمنع الاكسدة وفقدان الحرارة . ينتج عن عملية التفريغ اسوداد الجدران الداخلية للزجاج وذلك نظرا لتبخر الوسط المضيء وتسربها على الجدران. هذا يؤدي لانخفاض القدرة الضوئية (Lm/w) وأيضا يؤدي للتلف .

2- سلك التنجستن استخدم بشكل مستقيم .

3- القدرة الضوئية (المردود الضوئي) يساوي (9Lm/w)

4- تم تحديث هذا المصباح التوهجي بخلط غاز الأورغن والنيتروجين وجعل سلك التنجستن ملتوي وصارت القدرة الضوئية 13 لومن/واط.

ب) مصابيح التنجستن هالوجين

ذكرنا بأن تبخر التنجستن سوف يؤدي إلى أن يترسب على الغلاف الزجاجي مما يؤدي لاسوداد هذا الغلاف الزجاجي. كذلك فإن الغلاف الزجاجي يتعرض لجزء كبير من الإضاءة ويؤدي لتلفه.

لمعالجة المشكلة أضيف خليط من غاز الأورغن بنسبة 90٪ وغاز النيتروجين بنسبة 10٪ عند ضغط منخفض ...حيث أدى هذا إلى التقليل من تبخر التنجستن والضغط المنخفض أدى لزيادة درجة الحرارة وزيادة المردود الضوئي .

بهذه الحالة يتم التخلص جزئيا من ظاهرة الاسوداد. للتخلص كليا من ظاهرة الاسوداد نقوم بإضافة كمية صغيرة من الهالوجينات مثل (اليود I2 ، الفلور F ، البرومBr ، الكلور CL) ..هذه الهالوجينات تعمل دورة استرجاعية للتنجستن .

شرح الدورة الاسترجاعية :-

ترتفع درجة الحرارة ← يتبخر التنجستن ← يتحد التنجستن مع الهالوجين ← يتكون هاليد التنجستن ← عند اقتراب المركب وهو هاليد التنجستن مع سلك التنجستن ونتيجة الحرارة العالية يتفكك المركب ← يترسب التنجستن على السلك ويتطاير الهالوجين. وهكذا تستمر العملية .

مزايا الدورة الاسترجاعية :-

1- التخلص التام من ظاهرة الاسوداد مما مكننا من تخفيض حجم الغلاف الزجاجي مقارنة مع مصباح متوهج عادي له نفس القدرة .

2- نتيجة للصغر حجم الغلاف تم استخدام غازات خاصة كثافتها كبيرة مثل الكربتون kr والزينون Xc .

وهذا رفع القدرة الضوئية لمصباح تنجستن هالوجين ووصل إلى 21 Lm/watt كما زاد عمر مصباح تنجستن هالوجين إلى حوالي (2000ساعة)

2) مصابيح التفريغ :

الضوء الناتج عن التفريغ الكهربائي في الغازات هو ظاهرة جانبية لهذا التفريغ وسبب ظهور الضوء هو أنه بجانب الالكترونات التي لها طاقة حركية كافية لتأيين ذرات الغاز يوجد عدد من الالكترونات التي لها طاقة حركية لاستثارة الذرات وهذه الاستثارة يتبعها انبعاث الخطوط الطيفية الخاصة بالذرات المستثارة.

وعندما نريد التحكم بلون الضوء نختار غازات تقع أطيافها ضمن النطاق الأكثر حساسية للعين مثل مصابيح الصوديوم وقد ينتج عن بعض الغازات أطيافا منبعثة يقع جزءا منها ضمن المدى ما بعد البنفسجي فتحولها إلى ضوء مرئي وذلك بكسو الغلاف ا لزجاجي للمصباح بمادة فلورية إذا سقط عليها الضوء فوق البنفسجي تتحول الضوء مرئي وهذا ما ينطبق على مصابيح الزئبق.

وضغط بخار الصوديوم أو الزئبق منخفض جدا عند درجة حرارة الغرفة، ولذلك يتم وضع عاز خامل في أنبوبة التفريغ بالأضافة لكمية من معدن الصوديوم أوالزئبق. وعندما يحصل انهيار كهربائي ترتفع درجات الحرارة ويبدأ الصوديوم أوالزئبق في التبخر ويرتفع الضغط ويتواجد عدد كاف من ذرات المعدن يمكن استثارتها بواسطة الالكترونات.

والغاز الخامل يؤدي غرضين فهو يعمل كغاز بدئ.. وثانيا كغاز اصطدام أي أن وجوده يتسبب في تحريك الالكترونات في مسارات متعرجة مما يؤدي لتضاعف عدد الاصطدامات بين الالكترونات وذرات المعدن وتضاعف احتمال الاستثارة .

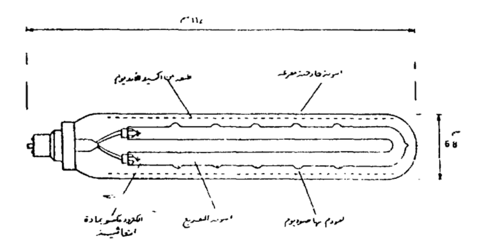
أ- مصباح الصوديوم ذو الضغط المنخفض

خواصة :-

- قدرة الضيائية (133-183 Lm/ watt)
- الأمانة في نقل الألوان سيء جدا (لا يميز الألوان)
- عمره 1500 ساعة .

الاستخدام:- يستخدم في الأمور التي تحتاج لقدرة ضيائية عالية وعدم تميز في الألوان مثل الشوارع والموانئ والمطارات .

شكله



ملاحظات

يتم التفريغ في وسط ذو ضغط منخفض ومكون من بخار الصوديوم وغاز خامل 99٪ نيون و 1٪ أرجون... والطيف الناتج ينحصر ما بين أطوال موجة (589nm) و (589.6nm) ولذلك فالأشعاع أصفر وتقريبا وحيد اللون. وشكل انبوبة المصباح على شكل حرف (U) (وذلك ليسهل تركيبه ولخفض طول المصباح). ويجب أن تكون درجة حرارة الأنبوب 270° تقريبا ولمنع فقد الحرارة تحاط أنبوبة التفريغ بأنبوبة أخرى مفرغة كعازل .

ب) مصباح الصوديوم ذو الضغط العالي.

خواصة

– القدرة الضيائية (115 Lm/watt)

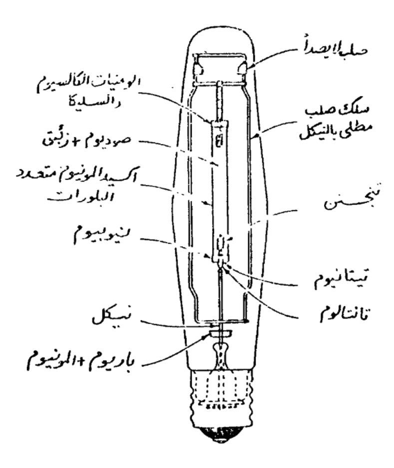
– أمانة نقل الألوان نوعا ما سيئة

– عمره : يصل عمر المصابيح الحديثة إلى 24000 ساعة .

استخدامه:–

– يستخدم لإضاءة الشوارع الجانبية والمناطق التجارية

شكله



ملاحظات: يخلط مع الصوديوم غاز الزينون وكمية من الزئبق لرفع الكفاءة الضوئية، وهنا الضغط عالي مما ينتج أطوالا موجية ضمن مدى واسع من الطيف المرئي ويصبح لون الضوء أبيض -ذهبي .

جـ) مصباح الزئبق ذات الضغط العالي.

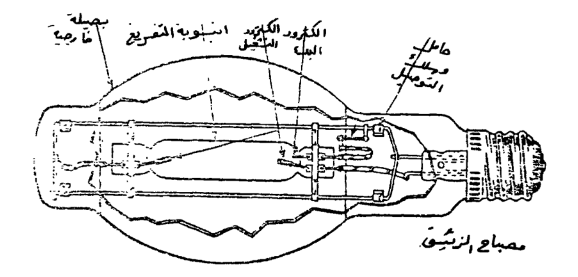
خصائصه

- القدرة الضيائية 55 Lm/watt
- أمانة نقل الألوان : جيدة
- عمرة :- مابين 16000-24000 ساعة .

استخدامه: -

يستخدم في إضاءة الشوارع وفي الإضاءة الداخلية للمصانع

شكله



مصباح الزئبق

ملاحظات :- يحتوي على زئبق وعلى كمية صغيرة من الأرغون الذي هو ضروري لتسهيل التفريغ لأن ضغط بخار الزئبق عند درجة حرارة الغرفة منخفض جدا.

وفي الغالبية العظمى من المصابيح تركب انبوبة التفريغ داخل غلاف زجاجي بيضوي الشكل وذلك حتى يحمي أنبوبة التفريغ ويمنع أي تغير في درجة حرارتها قد تنتج عن تغير درجات حرارة الجو .

والطيف الناتج هنا يحتوي على الأشعة فوق البنفسجية ولتحويله إلى ضوء مرئي يوضع طبقة من مادة متفسفرة على غلاف الأنبوب كذلك إضافة المادة المتفسفرة تضيف كمية من اللون الأحمر للطيف مما يرفع أمانة نقل الألوان.

د)- مصباح الهاليد المعدني

خصائصه

- قدرته الضيائية 75-100 Lm/watt
- أمانته في نقل الألوان ممتازة
- عمره 7000 ساعة .

استخدامه

يستخدم في الإضاءة الداخلية للمصانع

ملاحظات

الهاليد المعدني هو مركب نائي لأحد الهالوجينات وعنصر معدني . والهالوجين المستخدم في هذا النوع من المصابيح هو اليود أما العنصر المعدني فقد

يكون الصوديوم، أو الثاليوم ، أو الأنديوم.

وتستخدم هذه الهاليدات كوسيلة لإدخال العنصر المعدني في التفريغ ذات الضغط العالي حيث لا يمكن رفع درجة حرارة الأنبوب إلى درجة حرارة تبخر المعادن ولكن يمكن رفعها إلى درجة حرارة تبخر أملاح هاليد هذه المعادن .

وبإدخال المعادن المناسبة يمكن الحصول على أمانة في نقل الألوان ممتازة.

ويحتوي هذا المصباح بالإضافة لهاليد المعدن على غاز خامل وزئبق فعندما ينتقل التوصيل من الغاز الخامل إلى بخار الزئبق ترتفع درجة حرارة جدار الأنبوبة ويبدأ الهاليد المعدني بالتبخر وينتقل هذا البخار عن طريق الحمل والانتشار إلى قلب القوس الكهربي الشديد الحرارة فيتفكك إلى هالوجين ومعدن . ونتيجة للتصادمات التي تحدث بين ذرات المعدن والالكترونات الحرة تستثار ذرات المعدن إلى الحالات التي ينبعث منها الإشعاع الطيفي المميز لهذه الحالات .

وتعود ذرات المعدن والهالوجين نحو المناطق الأكثر برودة حيث تتحد ثم تبدأ هذه الدورة من جديد.

رابعا : - الإضاءة الداخلية

1) متطلبات الإضاءة:

تعتمد متطلبات الإضاءة على كمية الإضـاءة المطلوبـة لإضـاءة مسـاحة مـا وعلـى الغرض المراد استخدام هذه المساحة له كما قد يعتمد على المهام الإبصارية المرتبطة بهذا العمل.

فمثلا يهمنا أن تكون الإضاءة في مكان لعمل كافية للرؤيـة الجيـدة ولكـن يـهمنا أن تكون الإضاءة بشكل كبير في واجهات المحلات حتى تعرض البضاعـة بشكـل بارز أمـا في المعـارض الفنيـة أن تكـون الإضـاءة بشكـل تعكـس الألـوان الحقيقيـة للوحات.

أما في البيت أن تكون الإضاءة بحيث يكون هناك راحة إبصاريـة مـع طـابع جمـالي التصميم.

2) البهر:

عندما يزيد استضاءة جسم ضمن مجال الرؤية فهذا قد يؤدي إمـا إلى تعـذر الرؤيـة أو إلى إجهاد بصري .

فعندما يكون استضاءة الجسم ضعيفة لا تظهر دقائق هذا الجسـم بشكـل واضـح أمـا إذا كانت الاستضاءة عالية فعندها لن تتمكن العين مـن المقـدرة علـى متابعـة الجسـم بوضوح وقد يؤدي زيادة استضاءة جسم إلى حالتين : – فهو إما أن يؤدي إلى التأثير على الإدراك البصري بحيث تصبح الرؤية غير واضحة أو قد يؤدي إلى الشعور بعدم الراحة بعد التواجد لمدة من الزمن في مكان فيه زيادة في استضاءة الجسم .

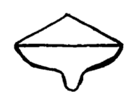
هذا ويعتمد ما تعانيه عينا الإنسان من هذا الأمر على عدة عوامل: -

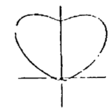
فمنها عدد مصادر الضوء ، وحجمها ، وموضع مصدر الضوء بالنسبة لمجال الرؤية. وحتى نشعر بالراحة عند رؤية الأشياء يجب أن تكون استضاءة الجسم وخلفيته متساويتين ، وألا يكون عكس الجسم للضوء أكبر من عكس خلفيته للضوء . وأن يوضع العدد المناسب من المصابيح موزعة .

3) النظم المختلفة لتوزيع الإضاءة .

أ- الإضاءة غير المباشرة : -

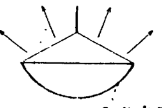
تكون 90-100٪ من الإضاءة للأعلى والباقي للأسفل ...وهذا النوع لا يصاحبه خيالات فهو لا يستخدم في المتاحف أولرؤية الأشياء الدقيقة.

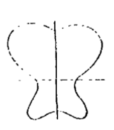




ب- الإضاءة شبه غير المباشرة

يكون للأعلى 90٪-60 من الإضاءة بينما 40٪-10 للأسفل

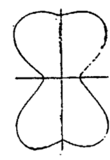


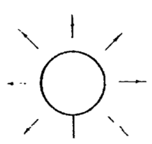


جـ- الإضاءة التناثرية .

وهنا الإضاءة موزعة بالتساوي بين النصف العلوي والنصف السفلي من الغرفة

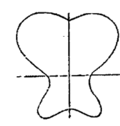
وهو يناسب الأجسام التي يراد إظهار أبعادها الثلاثة .





د- الإضاءة شبه المباشرة .

يكون هنا معظم الإضاءة 90٪-60 للأسفل والباقي للأعلى وهو مناسب للغرف السكنية والممرات .





هـ- الإضاءة المباشرة

وهنا تقريبا كل الإضاءة للأسفل 100٪- 90 وقليل منها للأسفل 10٪-0 وهو مناسب جدا في غرف العمليات الجراحية أو في أماكن التعامل مع الآلات الدقيقة.

4) خطوات تصميم الإضاءة :-

أ- الغرض من التصميم والمواصفات .

وقد سبق الحديث عنها هذا بالإضافة لنوعية الجو المحيط بالمنطقة المراد إضاءتها من حيث درجة التلوث حيث تقسم هذه المناطق إلى خمس درجات

نظيف جدا (VC)

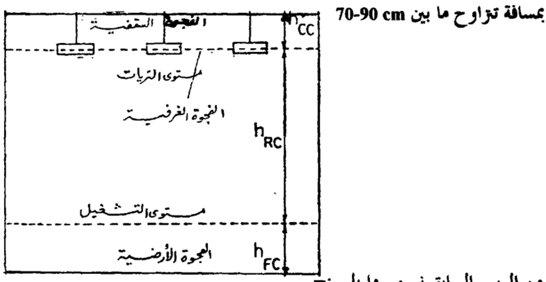
نظيف (C)

متوسط (M)

متسخ (D)

متسخ جدا (VD)

كذلك يندرج تحت هذا البند وصف المساحة المراد إضاءتها كأبعاده ووضع مستوى التشغيل وهو مستوى مساحته مساوية لمساحة أرضية الغرفة ومرتفع عنها بمسافة تتراوح ما بين 70-90 cm



من الرسم السابق نسمي ما يلي :-

- فجوة الغرفة (RC) وفجوة السقف (CC) والفجوة الأرضية (FC) وتعين النسب الفجوية لهذه الفجوات الثلاثة من العلاقة

$$\text{Cavity Ratio (CR)} = \frac{5h(L+W)}{L \times W}$$

حيث h تسمى

للنسبة الفجوية الغرفية (RCR) $h = h_{Rc}$

للنسبة الفجوية السقفية (CCR) $h = h_{cc}$

للنسمة الفجوية الأرضية (FCR) $h = h_{Fc}$

حيث L هي طول الغرفة ، و W عرض الغرفة ، ومن معرفة النسبة RCR ونـوع الإضاءة المستخدم يمكن معرفة معامل اتساخ الغرفة من خلال جداول خاصة .

ب- عوامل تؤدي للفقد الضوئي :

هناك عوامل عديدة قد تؤدي للفقد الضوئي فمثلا اتساخ سطح الأماكم المضاءة واحتراق المصابيح أو التقادم العمري لها وعوامـل أخرى وبما أن كل عامل من العوامل يعبر عنه بمعامل معين فإننـا نختصر هذه العوامل بأخذ حاصل ضربهما وتسميته العمل الناتج بمعامل الفقد الكلي .

جـ- حسابات الإضاءة .

عرفنا فيما سبق بأن استضاءة مصباح تساوي

$$E = \frac{\varnothing}{A} \text{........................}(1)$$

حيث A هي مساحة سطح التشغيل وبما أن جزءا من التدفق لضوئي هو الذي يصل مستوى التشغيل فنعبر عن عامل آخر يمثل الجـزء مـن التدفق الـذي يسقط فمثلا على مستوى التشغيل ويسمى هذا العامل بمعامل الانتفاع بعين الاعتبار تصبح العلاقة (1)

$$E = \frac{\varnothing(CU)}{A} \text{............................}(2)$$

وبادخال عامل الفقد الكلي تصبح(2)

$$E = \frac{\varnothing(CU)(LLF)}{A}$$

وعندما تستخدم عدد N من المصابيح تصبح الاستضاءة الكلية E

$$E = \frac{N\varnothing(CU)(LLF)}{A}$$

مثال : -

يراد تصميم الاضاءة لفصل دراسي طوله (9m) وعرضه (6.5m) وارتفاعه

(3.25m)،وإذا كان معامل الانتفاع يساوي (0.43)، ومعامل الفقر الكلي يساوي (0.56) وأقل استضاءة ممكنة في الغرفة هي (1000Lx) استعملت مصابيح توهجية حيث قدرة المصباح الواحد هي (100 watt) والمردود الضوئي للمصباح الواحد 15 Lumen / watt أجب عمايلي:

1- ما هي النسبة الفجوية السقفية (CCR) إذا كانت المصابيح مثبتة بالسقف .

2- ما هي النسبة الفجوية الأرضية (FCR) إذا كانت ارتفاع الفجوة الأرضية هو (hFC = 0.85m)

3- ما هي النسبة الفجوية الغرفية (RCR)

4- ما هو التدفق الضوئي للمصباح الواحد التوهجي .

5- ما هي عدد المصابيح التوهجية السمتعملة .

6- ما هي نوعية نظام الإضاءة المستخدمة ولماذا .

الإجابة :-

المعطيات :-

$L = 9m \quad W = 6.5m \quad h = 3.25m$

$CU = 0.43 \quad LLF = 0.56 \quad E = 1000\ Lx$

$p = 100\ watt$

$h_{cc} = 0 \quad h_{FC} = 3.85 \quad h_{RC} = 3.25 - 0.85 = 2.4m$

$A = L \times W = 9 \times 6.5 = 58.5\ m^2$

1- حساب CCR

$$CCR = \frac{5h_{CC}(L+W)}{L \times W}$$

$CCR = 0$ (لأن $h_{CC} = 0$)

2- حساب FCR

$$FCR = \frac{5h_{FC}(L+W)}{L \times W}$$

$$FCR = \frac{5 \times 0.85(9+6.5)}{58.5}$$

RCR = 1.126

3- حساب RCR

$$RCR = \frac{5h_{RC}(L+W)}{L \times W}$$

$$RCR = \frac{5 \times 2.4(96.5)}{58.5}$$

RCR = 3.18

4- حساب التدفق الضوئي لمصباح واحد (Ø)

$$\varnothing = P.N$$

$$\varnothing = 100 \times 15 = 1500\ Lm$$

5- حساب عدد المصابيح المتوهجة .

$$E = \frac{N\varnothing(LLF)(CU)}{A}$$

$$N = \frac{(58.5)(1000)}{(1500)(0.43)(0.56)}$$

N = 161.9 = 162

6- نوعية الإضاءة هي مباشرة واستخدمناها لأننا في الصف نريد رؤية الأشياء الدقيقة وبوضوح.

الوحدة الثالثة

الطيف الضوئي والألوان

الوحدة الثالثة : الطيف الضوئي والألوان

أولاً : - الطيف الضوئي

1 - مقدمة

وجد العالم نيوتن بتجربته المشهورة والتي إذا استخدم فيها منشور وأسقط عليه ضوء الشمس فإنه يتحلل لألوان مختلفة.

ووجد نيوتن بأن الأوان ما هي إلاّ ضوء الشمس وبأن عمل المنشور ما هو إلاّ تشتيت الألوان المختلفة لضوء الشمس وذلك نتيجة لانكسار الضوء في المنشور إلى اتجاهات مختلفة.

وكان عدد هذه الألوان سبعة هي الأحمر ، البرتقالي ، الأصفر، الأخضر ، الأزرق، النيللي ، البنفسجي.

ثم لم ينته اكتشاف نيوتن عند حدّ الألوان السبعة بل إنه اكتشف أيضاً أنه توجد أسفل الأشعة الحمراء أشعة غير منظورة سميت بالأشعة تحت الحمراء ، كما اكتشفت أشعة فوق الأشعة البنفسجية سميت فوق البنفسجية .

2- ملاحظات

أ – من دراسة الإشعاع فإن أي جسم ساخن مثل الشمس يصدر إشعاعات ذات أطوال موجية مختلفة تتراوح أطوالها من صفر إلى ∞ .

ب– قدرة الانبعاث (بعث الأشعة) تكون قيمة عظمى عند طول موجي معين،

والطول الموجي ذي قدرة ابتعاث عظمى يتوقف على درجة حرارة الجسم المصدر للأشعة (حسب نظرية بلانك للإشعاع)

جـ- أي منبع للأشعاع كالشمس مثلاً أو مصباح ضوئي عندما يصدر أشعة تكون غالباً الأطوال الموجية ذات قدرة ابتعاث مناسبة محصورة في منطقة الضوء المرئي وقد تمتد إلى منطقة الأشعة تحت الحمراء أو منطقة فوق البنفسجي، أذ كلما ارتفعت درجة الحرارة انزاحت قدرة الانبعاث العظمى نحو الأطوال القصيرة.

د- من حيث طبيعة الموجات الضوئية فهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية وهي جزء من الطيف الأكبر أي الطيف الكهرومغناطيسي .

3- أنواع الأطياف.

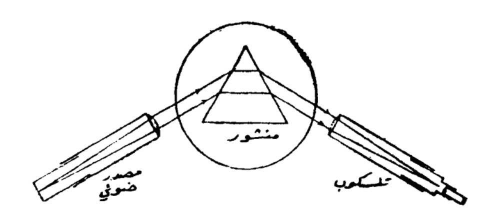
أ- الطيف المتصل (المستمر)

إذا استخدم مقياس للطيف لتحليل أشعة بيضاء وذلك باستعمال شق ضيق لمصدر الضوء بحيث تسقط الأشعة بشكل متوازي على منشور مقياس الطيف (انظر الشكل 1) فإن صورة الشق الضيق تبدو في عينية التلسكوب على هيئة مستطيل تظهر فيه الألوان المختلفة للطيف متدرجة من اللون الأحمر إلى اللون البنفسجي.

* ويسمى مثل هذا الطيف بالطيف المستمر (المتصل) حيث لا توجد حدود فاصلة بين ألوانه وتبدو وكأنها متداخلة .

* ينتج الطيف المستمر عموماً من المواد الصلبة المتوهجة... فمثلاً ضوء مصباح كهربائي يحتوي على سلك تنجستن يعطي الطيف المتصل المذكور .

* أحسن مثال معلوم لطيف مستمر هو طيف أشعة الشمس .



* عموماً فإن الأجسام الصلبة والسوائل المتوهجة الواقعة تحت ضغوط كبيرة نسبياً تعطي طيفاً متصلاً.

* كذلك من الأمثلة على الطيف المتصل هو طيف الأجسام السوداء (جسم تام الإشعاع أي قدرة الابتعاث له 100٪)

ب- الطيف الخطي

* أما الغازات والأبخرة المضيئة عند ضغوط منخفضة فتعطي طيفاً يختلف عن طيف الأجسام الصلبة، إذ أنّ الطيف في مثل هذه الحالة يتكون من خطوط واضحة تفصل بينها مناطق مظلمة ويمى هذا الطيف بالطيف الخطي .

* تبيّن التجارب أن كل عنصر يبعث طيف خطي يتوقف على ذلك العنصر .

* فمثلاً

- قربت عدة مركبات مختلفة للصوديوم من لهب بنزين أو شرارة كهربائية فإن

خط أصفر مميز له طول موجي معين يظهر في مقياس الطيف

– وعند استعمال لهب بخار الصوديوم الذي يستعمل للإضاءة القوية يظهر نفس المذكور ومن ذلك نستنتج أن السبب في ظهور هذا الخط الطيفي يكمن في ذرة الصوديوم نفسها وهذه النتيجة اتضحت نظرياً صحتها الأن .

* يمكن تعميم الموضوع بأن نقول بأن الطيف الخطي ينشأ من ذرات العناصر، ويسهل الحصول على الأطياف الخطية للغازات إذا استعملت أنابيب تحوي الغاز المطلوب إظهار طيفه تحت ضغط مخفف.

* النموذج الشائع للطيف الخطي هو طيف الهيدرجين .

جـ– الطيف الشريطي (الطيف الجزئي)

* يتكون من شريط أو أكثر مضيئ في مواضيع مختلفة يتخللها ظلمة، ولهاحد واضح عند أحد جانبي الشريط وتقل شدة الإضاءة بالتدريج عند الجانب الآخر للشريط

* يسمى الطيف الشريطي بالطيف الجزيئي لأنه ينتج من إثارة الجزيئات بدلاً من الذرات .

* مثال :– التفريغ خلال غاز ثاني أكسيد الكركبون (CO_2) في ضغط مناسب، ينتج طيف خاص بجزيئ (CO_2) ولا يتوقف الطيف على أي من الكربون أو الاكسجين .

* سؤال:– على ماذا يتوقف ظهور الطيف الشريطي أو الخطي أو المستمر؟

1– يتوقف ذلك على الظروف التي يتم فيها الإثارة والتوهج فالهيدرجين يعطي

طيفا خطيا إذا كان الغاز ذي ضغط منخفض جدا وإذا زاد الضغط يعطي طيفا شريطيا وإذا وصل الضغطإلى (30–40 سم زئبق) يعطي طيف مستمر .

2- كذلك الطريقة التي يتم بها التفريغ الكهربائي لها تأثير في الطيف الناتج، فالطيف الحادث عند التفريغ في أنبوبة مخلخله باستخدام ملف عادي يكون شريطا أما إذا استخدم ملف قوي واستعمل معه مكثف فإن الطيف يكون خطيا.

4- طيف الإنبعاث وطيف الامتصاص .

* إذا وصلت أنبوبة تفريغ تحتوي على غاز الهيدروجين مثلا بمصدر للجهد الكهربائي بحيث تتوهج الأنبوبة ، ثم حلل الطيف باستخدام مقياس الطيف تحصل على الطيف الخطي للهيدرجين ويسمى مثل هذا الطيف (بطيف الانبعاث) .

* أما إذا استخدمنا مصدرا للطيف المستمر مثل ضوء الشمس وسمحنا للضوء الأبيض قبل مروره في مقياس الطيف أن يمر بأنبوبة غاز الهيدرجين فإننا نشاهد في تلسكوب مقياس الطيف طيفا مستمرا وقد وجدت فيه خطوط معتمة تقابل الخطوط المضيئة التي يبعثها الهيدرجين ويسمى الطيف بهذه الحالة (بطيف الامتصاص).

* يلاحظ أن طيف الانبعاث للهيدرجين عبارة عن خطوط مضيئة في أرضية مظلمة، بينما طيف الامتصاص عبارة عن أرضية من الطيف المستمر تتخلها خطوط مظلمة ويلاحظ أن الخطوط تكون في نفس المواضع المقابلة لها في طيف الانبعاث.

* عند طيف الشمس تمكن فرانهوفر من رؤية أكثر 500 خط من الخطوط المتوازية المظلمة الموزعة في جميع مناطق الطيف المتصل لضوء الشمس وسميت الخطوط بخطوط فرانهوفر.

وفسر العالم كيرتشوف ذلك بأن وجود أبخرة وغازات في الغلاف الخارجي

للشمس في درجات حرارة أقل من حرارة قلب الشمس المشع للضوء الأبيض لذا تمتص هذه الأبخرة والغازات الخطوط حرارة أقل من حرارة قلب الشمس المشع للضوء الأبيض لذا تمتص هذه الأبخرة والغازات الخطوط الخاصة بالعناصر التي تكون هذه الغازات. وبدراسة هذه الخطوط الطيفية أمكن الاستدلال على وجود كثير من العناصر في جو الشمس مثل الهيدرجين والصوديوم والكالسيوم.

5- طرق الحصول على الطيف.

1- الطيف الشمسي

2- الطيف عن طريق اللهب.

وهو طيف مادة من درجة حرارة اللهب (عادة 1800C°)، ولهب بنزن هو اللهب المعتاد للحصول على أطياف العناصر في المجموعتين او2 من الجدول الدوري للعناصر.

3- طيف الشرارة .

نحصل عليه عندما تمرّ شرارة في غاز أو بخار ويستعمل لذلك زوج من الاقطاب المعدنية موصلة بملف ونقرب الأقطاب إلى أن تحدث الشرارة وبذا ينبعث الطيف الخاصة بالعنصر الذي تتكون منه الأقطاب.

4- طيف أنابيب التفريغ الكهربائي المخلخلة

في أنبوبة التفريغ نلحم الأقطاب في أنبوبة مفرغة تحتوي على الغاز عادة في ضغط 1 ملم زئبق مثلاً وعند توصيل القطبين بمصدر للجهد العالي تحدث شرارة يتولد الطيف المميز للغاز.

ثانيا : اشعاع الجسم الأسود

إن الاجسام عند أي درجة حرارة ممكن أن يشع اشعاعاً غالباً ما يكون على شكل اشعاع حراري.. وخصائص هذا الاشعاع تعتمد على درجة حرارة وخصائص الأجسام المشعة.

* الجسم الأسود .

وهو نظام مثالي يستطيع امتصاص جميع الاشعاعات الساقطة عليه بأطوالها الموجية وأبسط تقريب للجسم الأسود هو داخل جسم مجوف كما يرى في الشكل (1) ويتصل هذا التجويف الداخلي بالخارج عن طريق ثقب صغير.

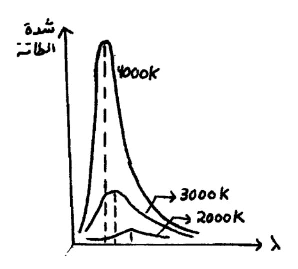

الشكل (1)

وتعتمد الاشعاعات الممتصة من قبل الجسم الأسود على درجة حرارة هذا الجسم ولا تعتمد على شكله أو حجم التجويف أو المادة المصنوع منها الجسم الأسود.

إذا سخن الجسم الأسود إلىدرجات حرارة عالية فسوف تتكون إشعاعات كهرومغناطيسية إلى طاقة حركية اهتزازية .... وتفقد الذرات هذه الطاقة على شكل أمواج كهرومغناطيسية.

وقد أجرى علماء تجارب على الأجسام السوداء عند درجات حرارة مختلفة وأوجدوا العلاقة بين شدة الطاقة الاشعاعية وبين طول الموجة فكان الناتج هو


الرسمة في الشكل 2



نلاحظ من الشكل ما يلي:-

1- كلما ازدادت الحرارة فإن الطاقة الكلية التي تشعها الأجسام السوداء تزيد.

وقد وجد العلماء أن الطاقة تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة حسب العلاقة

$E = \sigma T^4$

ويسمى هذا القانون بقانون ستيفان بولتزمان

ε= معدل اشعاع الطاقة لكل وحدة زمن لكل وحدة مساحة .

σ= ثابت ستيفان بولتزمان ومقداره

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \quad = \frac{\text{watt}}{m^2 k^4}$$

T = درجة الحرارة المطلقة للجسم الأسود ووحدتها كلفن (K)

2- الملاحظة الثانية التي تلاحظها من الجدول بأن النهاية العظمى للمنحنى تنزاح كلما ارتفعت درجة الحرارة نحو أطوال موجية أقصر (أي ترددات أعلى)

والعلاقة التي تربط بين درجة الحرارة والطـول الموجـي عنـد أقصـى مقـدار للطاقـة المنبعثة بقانون الإزاحة ووضعه العالم واين وهذا القانون

$\lambda\ max\ \ .\ T = 0.2898\ \ \times 10^{-2}\ \ m.k$

حيث λmax ≡ هي طول الموجة عند أقصى مقدار للطاقة المنبعثة .

T ≡ هي درجة الحرارة المطلقة بالكلفن (K) .

6.2898×10^{-2} m.k ≡ ثابت واين (إذا أعطيـت درجـة الحـررة باسـتمرار نحولهـا لكلفن بأن نجمع لها 273)

* ملاحظة :– تقاس أطوال الأمواج عادة بوحدة تسمى الأنجستروم ≡ A^{o}

$1\ A^{o}\ =\ 10^{-10}\ m$ حيث

مثال :– حرارة جلد الإنسان تقريبـا 308k كـم يكـون طـول الموجـة عنـد أقصـى مقدار للطاقة المنبعثة من الجلد . علما بأن ثابت واين = $6.2899\ \ \times 10^{-2}$ m.k

$$\lambda_{max}\ \ T = 0.2898\ \times 10^{-2}\ m.k$$

$$\lambda_{max} = \frac{0.2898\ \times\ 10^{-2}\,m.k}{T} = \frac{0.2898 \times 10^{-2}\,m.k}{308}$$

$$= 9.409\ \times\ 10^{-6}$$

مثال : – إذا كانت $\lambda_{max_1} = 6000A^{O}$ عند درجة حرارة 5000k مـا هـي قمية λ_{max_2} عند درجة حرارة 3000k

$$\lambda_{max_1}\ .\ T_1 = \lambda_{max_2}\ .\ T_2$$

$$\lambda_{max_2} = \frac{\lambda_{max_1}\ .T}{T_2} = \frac{6000A^{\circ} \times 5000k}{3000k} = 10000\ A^{o}$$

محاولات تفسير ظاهرة إشعاع الجسم الأسود

1- من ناحية الفيزياء الكلاسيكية

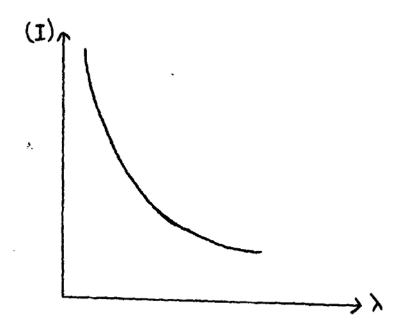
من هذه الناحية قامت بتعريف العلاقة التالية المسماه بقانون ري ليه جينز

$$I = \frac{2\Pi CKT}{\lambda^{4}}$$

ثابت بولتزمان $\equiv K$

$I \equiv$ القدرة لكل وحدة مساحة

ولو رسمنا رسماً بيانياً للعلاقة السابقة بين (I) و(λ)

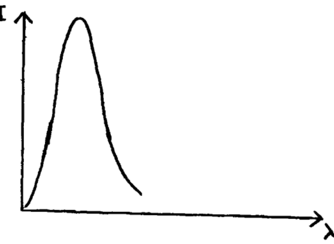


نلاحظ أن الرسم والعلاقة لا تتفق مع النتائج التجريبية .

* في النموذج الكلاسيكي لتفسير إشعاع الجسم الأسود، فإن الذرات في حائط التجويف تعامل كمجموعة من المتذبذبات تشع أمواجاً كهرومغناطيسية عند جميع الأطوال الموجبة .

2– من ناحية الفيزياء الحديثة

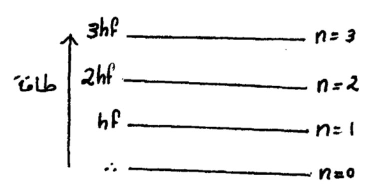
العالم بلانك افترض علاقة لإشعاع الجسم الأسود واليت توافقت بشكل كامل مع النتائج التجريبية عند جميع الأطوال الموجبة . هي ما بين λ وشدة الضوء . ونتج الرسم التالي:



وقد افترض بلانك ما يلي:–

أ – الاشعاع الضوئي ناتج عن اهتزاز جزيئات الجسم المشع وتهتز بتردد معين يساوي تردد الاشعاع الناتج .

ب– الجزيئات المهتزة التي تصدر الإشعاع تمتلك كميات محددة من الطاقة ($E_n=nhf$) حيث n عدد صحيح وهو العدد الكمي الرئيسي وبالتالي فطاقة الجزيئات المهتزة مكممة ، أي أن مستويات الطاقة المسموح بها تشكل سلماً منتظماً متساوي الدرجات .



جـ- لايشع الجزيء المهتز طاقة مادام في احد مستويات الطاقة وإن الجزيئات تمتص أو تشع طاقة بشكل منفصل وليس بشكل متصل عندما ينتقل من مستوى إلى مستوى آخر. فإذا تغيرت (n) بمقدار (1) فإن الطاقة المنبعثة بين أي مستويين متتالين (E=hf)

وقد فسر بلانك إشعاع الجسم بأن الإشعاع ينبعث من الجسم الساخن نتيجة لاهتزاز جزيئاته وذراته، وأن هذه الجزيئات أو الذرات لا تشع إشعاعا متصلا بل تشع كميات محددة من الطاقة يعتمد مقدارها على تردد الجزيء أو الذرة.

وعند درجة حرارة معينة لاتهتز الذرات أو الجزيئات بتردد واحد وإنما بترددات مختلفة وفق توزيع يمثل جميع الترددات. لذلك لا توجد ذرات كثيرة تهتز بترددات عالية لبعث موجات قصيرة وهذا ما يفسر نقصان الطاقة في الجزء الأيسر من منحنى إشعاع الجسم الأسود أما الجزيئات ذات الترددات المتوسطة يكون عددها أكبر وهذا ما يفسر ارتفاع شدة الطاقة عند هذه الترددات.

مثال :- ما هي الطاقة المحمولة مع فوتون ضوئي تردده ($6 \times 10^{+14}$ HZ) وما هو طول الموجة .

الحل:-

$E = hf$

$= (6.626 \times 10^{-34}\ J.S)\ \ (6.0 \times 10^{14}\ HZ)$

$= 3.98 \times 10\text{-}34^{-19}\ J$

$C = \lambda f$

$\lambda = \frac{c}{f}$

$$\lambda = \frac{3\times10^{8} m/s}{6\times10^{14} 1/s}$$

$= 500 \times 10^{-9}$ m

= 500 nm.

مثال: – أمواج FM لها قدرة (150KW)، وتعمل على تردد (99.7MHZ) . كم عدد الفوتونات بالثانية التي يبثها المرسل.

الحل:–

الطاقة الكلية للفوتونات بالثانية هي

$E = 150 \times 10^{3}$ W

$= 150 \times 10^{3} \frac{J}{S}$

طاقة الفوتون الواحد هي :

E= hf

$= (6.62 \times 10^{-34}$ J.s$) 99.7 \times 10^{6} \frac{1}{s})$

$= 6.6 \times 10^{-26}$ j.

عدد الفوتونات في الثانية = الطاقة الكلية للفوتونات في الثانية / طاقة الفوتون الواحد

$$= \frac{150\times10^{3} J/s}{6.6\times10^{-26} J} =$$

$2.27 \times 10^{30} \frac{photon}{s} =$

مثال : فلم تنجستن سخن إلى درجة حرارة 800°C ما هو طول ا لموجة للطاقة الاشعاعية الأشد.

$\lambda max = ?$ $T = 800\ Co$

$= 800+273\ k$

$\lambda max\ .\ T = 0.2898 \times 10^{-2}\ m.k$

$$\lambda\ max = \frac{0.289 \times 10^{-2} m.k}{1073 k}$$

$= 2.69 \times 10^{-6}\ m.$

مثال 2: – جسم كروي الشكل نصف قطره (5cm) سخن لدرجة حرارة (327 °C) أوجد القدرة المنبعثة الكلية، وأوجد λ التي تحدث عندها أعظم انبعاثية .

إذا علمت أن ثابت واين تساوي (0.289×10^{-2}m.k)

$T = 327^{\circ}C$ $r = 5cm = 5\times10^{-2}m$

$=327 + 273 = 6ook$

$\varepsilon = \sigma\ T^4$

$$\varepsilon = 5.67 \times 10\text{-}8\ \frac{watt}{m^2.k^4}\ (600k)^4$$

$$\varepsilon = 7348.32\ \frac{watt}{m^2}$$

القدرة المنبعثة الكلية ≡ p

$P = \varepsilon A$

$A = 4\ \prod\ r^2$

$= 4 \times 3.14 \times (\ 5 \times 10^{-2}m)^2$

$= 0.0314\ m^2$

$$p = 7348.32\ \frac{watt}{m^2} \times 0.0314\ m^2$$

$p = 230.74$ watt

لإيجاد λmax

$\lambda max\ .\ T = 0.289 \times 10^{-2}\ m.k$

$$\lambda max = \frac{0.289 \times 10^{-2} m.k}{600k}$$

λ **max = 4.817 × 10^{-6} m**

مثال : إذا كان معدل طاقة الشمس $4.2 \times 10^6 \frac{watt}{m^2}$ فأوجد درجة حرارتها.

الحل :-

$$\varepsilon = \sigma T^4$$

$$T^4 = \frac{\varepsilon}{\sigma}$$

$$T = (\frac{\varepsilon}{\sigma})^{1/4}$$

$$= \left(\frac{64.2 \times 10^6}{5.67 \times 10^{-8}}\right)^{1/4}$$

= 5800k

مثال: إذا كان معدل الطاقة الواصلة للأرض من الشمس $1400 \frac{watt}{m^2}$ ، وكان نصف قطر فلك الأرض (1.49×10^{11}m)، ونصف قطر الشمس (6.96×10^8m) وعلى فرض أن الشمس تشع كجسم أسود. احسب معدل الطاقة عند سطح الشمس.

R = نصف قطر تلك الأرض

r = نصف قطر الشمس

ومعدل الطاقة المنبعثة من الشمس والواصلة للأرض = $1400 \frac{watt}{m^2}$

القدرة الكلية الواصلـة لـلأرض = معـدل الطاقـة المنبعثـة مـن الشمـس والواصلـة للأرض × مساحة الكرة التي نصف قطرها R

$$4 \prod R^2 \times 1400 \frac{watt}{m^2} =$$

$$4 \times 3.14 \times (1.49 \times 10^{11} m)^2 \times 1400 \frac{watt}{m^2} =$$

$$3.9038 \times 10^{26} \text{ watt} =$$

القدرة الكلية عند سطح الشمس = القدرة الكلية الخارجة من الشمس والواصلة للأرض .

معدل الطاقة التي عند سطح الشمس × مساحة سطح الشمس = 3.9038×10^{26} watt

معدل الطاقة التي عند سطح الشمس = $\frac{3.9038 \times 10^{26} \text{ watt}}{\text{مساحة سطح الشمس}}$

$$= \frac{3.908 \times 10^{26} watt}{4 \prod r^2}$$

$$65 \times 106 \frac{watt}{m^2} = \frac{3.938 \times 10^{26} watt}{4 \times 3.14 \times (6.9 \times 10^8 m)^2} =$$

ثالثا : - الامتصاص والنفاذية

الامتصاص: – هو ضعف شدة الضوء النافذة من خلال وسط بصري

Io :– شدة الضوء الأصلية .

I : شدة الضوء النافذة .

Δx :– سمك الوسط البصري

النفاذية ≡ Transmission

يرمز بالرمز T وهي النسبة بين الأشعة النافذة إلى الأشعة الساقطة .

$$T = \frac{\varnothing}{\varnothing_o}$$

حيث $\varnothing$:– الأشعة النافذة .

$\varnothing_o$:– الأشعة الساقطة .

الامتصاصية ≡ Absorption

يرمز لها بالرمز a وهي لوغريتم مقلوب النفاذية للأساس 10 .

$$a = \log_{10} \frac{1}{T}$$

* قوانين الامتصاص

1– قانون بوجيير

$$\Delta I = - I \Delta x$$

$$\Delta I = - \propto I \Delta x$$

Δx صغيرة وعندها بأخذها dx ΔI صغيرة ونأخذها DI

$$\frac{\Delta I}{I} = \propto \Delta x$$

$$\frac{dI}{I} = -\propto dx$$

$$\int_{Io}^{I} \frac{I}{Io} = -\propto x$$

$$\frac{I}{I_o} = e^{-\propto x} \quad \Rightarrow I = I_o\, e^{-\propto x}$$

2- قانون بيير

قانون بوجيير لا يحتوي على كمية فيزيائية تصف تركيز الوسط لذلك قام بيير باجراء تعديلٍ على النحو

$$I = I_o\, e^{-BoC}$$

حث B معامل الامتصاص لكل وحدة تركيز .

C تركيز المادة بالمول / لتر باغرام.

امثلة :-

1- إذا نفذ 20٪ من الضوء الساقط في خلال عينة أوجد الامتصاصية

$a = \text{Log}\ \frac{1}{T}$ $\qquad T = 20\% = 0.20$

$a = \text{Log}\ \frac{1}{0.2}\ \text{Log}\ 5 = 0.699$

2) معامل امتصاص نوع من الزجاج هو $0.05mm^{-1}$

ما نسبة الضوء النافذ إلى الضوء الساقط إذا كان سمك لوح الزجاج 4mm .

$\propto = 0.05\ mm\text{-}1 = 0.05\ \frac{1}{mm}$

$x = 4mm \qquad \frac{I}{I_o} =$ المطلوب

$I = I_o\ e^{-\propto x}$

$\frac{I}{I_o} = e^{-\propto x} \quad \Rightarrow \quad \frac{I}{I_o} = e^{\frac{-0.05}{m}4m}$

$\frac{I}{I_o} = e\ {-0.2} = 0.819$

3) إذا كانت شدة الضوء الساقط هي 100d وكان شدة الضوء النافذ 50cd وكانت معامل امتصاص الزجاج هو $0.05mm^{-1}$ احسب سمك لوح الزجاج.

$\propto = 0.05\ mm^{-1} = 0.05\ \frac{1}{mm}$

$x = 4mm \quad \frac{I}{I_o} =$ المطلوب

$I = I_o\ e^{-\propto x}$

$\frac{I}{I_o} = e^{-\propto x} \Rightarrow \frac{I}{I_o}$

$\frac{50}{100} = e^{-\propto x} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2} = e^{-\propto x}$

$Ln\ \frac{1}{2} = Ln\ e^{-\propto x}$

$Ln\ \frac{1}{2} = -\propto x\ Lne$

$Ln\ \frac{1}{2} = -\propto x$

$x = \frac{Ln1/2}{-\alpha} = \frac{-0.69}{-0.5\frac{1}{mm}} = 1.38mm$

ملحق رياضي

$c = Log_{10}\ A \Rightarrow 10^{c} = A$

$Log_{10} \times y = Log_{10} + {}_{Log10}y$

$Log_{10} \frac{x}{y} = Log_{10} \times - Log_{10}y$

$log_{10}\frac{1}{y} = - Log\ y$ $Log_{10}\ x^{y} = y\ Log_{10}\ x$

$Log_{10}\ 1 = 0$ $Log_{10}\ 10 = 1$

$Log_{e}\ (x) = Ln\ (x)$ الوغريتم الطبيعي $e = 2.7$ العدد النيبيري

$Ln\ 1 = 0$

$Ln\ e = 1$

$Ln \times oy = Lnx + Lny$ $Ln\ (\frac{x}{y}) = Lnx - Lny$

$lnx^{y} = y\ Lnx$

$Lnx = \int \frac{dx}{x}$

$(Lnx)^{1} = \frac{1}{x}$

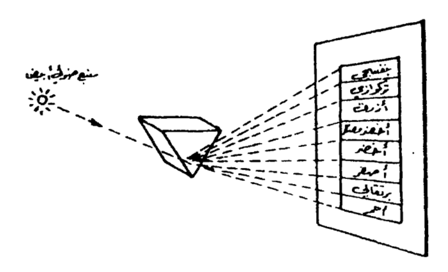
رابعا : الألوان

1) مقدمة

إن الألوان المحصورة ضمن المجال المرئي تتغير بتغير طول الموجة الكهرومغناطيسية . ويقابل كل لون منها طول موجة معيناً ضمن المجال المرئي ولا يوجد حدود واضحة بين الألوان .

اللون	طول الموجة
البنفسيجي	380 - 450 nm
الأزرق	450- 482 nm
أزرق مخضر	482 - 497 nm
الأخضر	497 - 530 nm
أخضر مصفر	530 - 575 nm
أصفر	575 - 580 nm
برتقالي مصفر	580 - 585 nm
برتقالي	585 - 595 nm
برتقالي مائل إلى الإحمرار	595 - 620 nm
أحمر	620 - 780 nm

الضوء القادم من الشمس هو ضوء ابيض ويمكن تحليله إلى الألوان الطيف بواسطة منشور (انظر الشكل) أي أن هذه الألوان هي مركبات اللون الأبيض .



إن ألوان الطيف السابق ليست هي كل الألوان المرئية، إذ توجد ألوان مرئية أخرى غير موجودة في الضوء المرئي ومثال ذلك اللون الإرجواني .

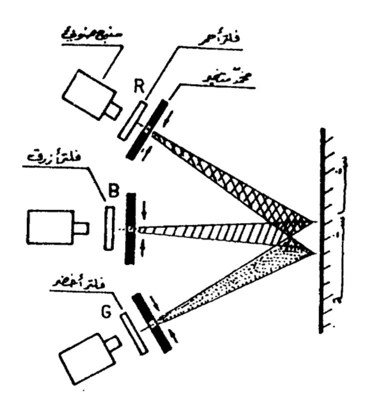
2) الألوان الأساسية وتمازج الألوان .

إن نتيجة مزج لونين أو أكثر يعطي لوناً جديداً لذلك لو كان عندنا عدد معين من الألوان نحصل على عدد كبير من الأوان.

فلو أحضرنا ثلاثة مصادر ضوئية ووضعت بشكل يسقط منها الضوء على بقعة واحدة على شاشة بيضاء ولو وضعنا أمام كل مصدر ضوئي مرشح يسمح بمرور لون واحد فقط فلو وضعنا أمام المصدر الأول مرشح أحمر وأمام الثاني مرشح أزرق وأمام المصدر الثالث مرشح أخضر فكأنه أصبح لدينا مصدر للضوء الأحمر آخر للأزرق وآخر للأخضر.

كذلك نضع أمام كل فلترمخمد يسمح بضبط كمية الضوء المنطلقة من حيث الشدة.

بواسطة هذه التجربة نحصل على عدد لانهائي من الألوان الجديدة وذلك بمزج الألوان الرئيسية الثلاثة بنسب مختلفة. والتحكم بنسب المزج يتم باستخدام المخمدات التي تضبط كميات الضوء المنطلقة من المصادر حسب الطلب انظر الشكل.



فلو مزجنا :

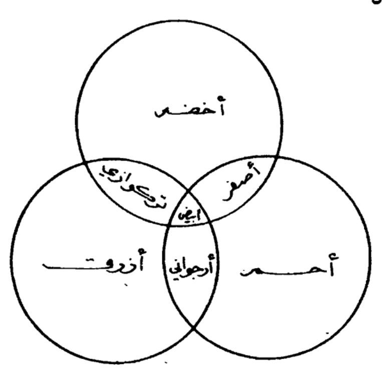
أحمر + أزرق = أرجواني

أخضر + أحمر = اصفر

أخضر + أزرق = تركوازي

وتستخدم هذه الطريقة في التلفاز الملون

انظر الشكل



كذلك هناك ما يسمى بالطريقة الطرحية للألوان .

فلو وضعنا أمام الفلتر الأصفر فسوف يمرر اللونين الأخضر والأحمر ثم لـو وضعنا أمام الفلتر الأصفر فلتر تركوازي فسوف يمرر اللون الأخضر فقط ثم لـو وضعنا أمام الفلتر التركوازي فلتر أرجواني فسوف لا يمرر أي شيء ونحصل على سواد



وتستخدم هذه الطريقة في خلط الدهان

3) الخواص الأساسية المميزة للون.

أ – صبغة اللون (Hue) : تتعلق بطول الموجة اللون في الطيف الضوئي وتقرر نو ع اللون .

ب– درجة الإشباع (Saturation) : تتعلق بنسبة البياض الممـزوج بـاللون النقـي وبالتالي بكمية الطيف الكامل لهذا اللون.

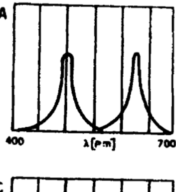
جـ– السّطوح (brightness): تتعلق بالأستضاءة أي شدة الضوء لوحدة المساحة.

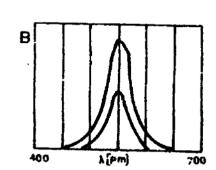
انظر الأشكال

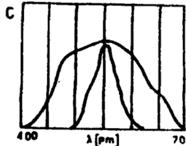
الشكل الأول يمثل لونين لكل منهما صبغة مختلفة عن الأخرى .

الشكل الثاني يمثل لونين لهما نفس الصبغة ويختلفان في درجة السطو ع.

الشكل الثالث يمثل لونين لهما نفس لصبغة ودرجة السطو ع ولكـن أحدهمـا أكـثر إشباعاً من الآخر.







4) فيسيولوجية رؤية الألوان.

يسبب الضوء الساقط على شبكية الجدار الداخلي للعين تغيرات كيميائية وكهربائية.

تحتوي الشبكية على خلايا عصبية هي مخاريط وعصيات ... فالمخاريط تتحسس بالألوان أما العصيات تتحسس بشدة الضوء فقط.

لو رمزنا لشدة اللون الأخضر ب (G) والأحمر (R) والأزرق ب (B) وعند تأثير هذه الألوان على العصيات فشدة الضوء لا تكون

1R + 1G + 1B

ولكن

0.3R + 0.58G + 0.11B.

ويمكن تقسيم المخاريط لثلاثة مجموعات، مجموعة تتحسس اللون الأحمر وأخرى اللون الأزرق والأخرى اللون الأخضر.

ويستطيع الدماغ تركيب كافة الألوان بمزج نسب معينة من الألوان الأساسية الثلاثة التي تحسست بها مخاريط العين .

5) ثنائية الألوان وثلاثية الألوان

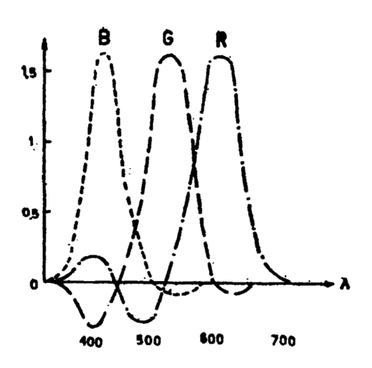
إذا استخدم لونين أساسيين لتركيب بقية الألوان فإن هذا يدعى بمبدأ ثنائية الألوان، فمثلا لو تم اختيار اللون الأخضر المصفر كلون أساسي وجب اختيار اللون الأساسي الثاني ليتممه للون الرمادي وهذا اللون هو الأزرق المائل البنفسجي.

هنا لا نحصل على ألوان ذات درجات عالية من النقاوة.

لذلك تم استخدام الطريقة ثلاثية الألوان لأنها تعطي دقة أكثر.

والألوان الأساسية ليست صافية تماماً أي أنها ليست ذات طول موجي واحد.

وللحصول على بعض الألوان لا بد من جمع لونين من الألوان الأساسية وطرح نسبة معينة من اللون الثالث منها (انظر الشكل) حيث نرى أن بعض الألوان الأساسية تمر بقيم سالبة لها عند بعض أطوال الأمواج .



فمثلاً على لون طول موجة 500nm نجمع نسبة معينة من اللون الأزرق مع نسبة أكبر من اللون الأخضر ونطرح منهما نسبة معينة من اللون الأحمر.

6) التمثيل الرياضي للأوان .

أثبت غراسمان أنه للحصول على لون يجب أن نمزج نسب معينة منن ثلاثة مصادر ضوئية ذات ألوان مختلفة تختار بأشكال مناسبة .

فمثلاً لنحصل على اللون الأبيض نمزج نسب متساوية من الأولان الثلاثة الأحمر والأخضر والأزرق.

ولو رمزنا للضوء الأبيض بالرمز (W) كان لدينا

$$W = 1(R) + 1(G) + 1(B)$$

ولو أردنا الحصول على لون آخر مثل (C_1) نغير نسبة الألوان الممزوجة بتغير المخمرات الموجودة حسب ماذكر سابقاً ونحصل على

$$C_1 = R_1(R) + G_1(G) + B_1(B)$$

حيث R1 ,G1, B1 هي نسبة المزج من كل من الأولان الثلاثة

ولو أردنا أن نحصل على لون آخر (C2) مثلاً نغير نسب المزج

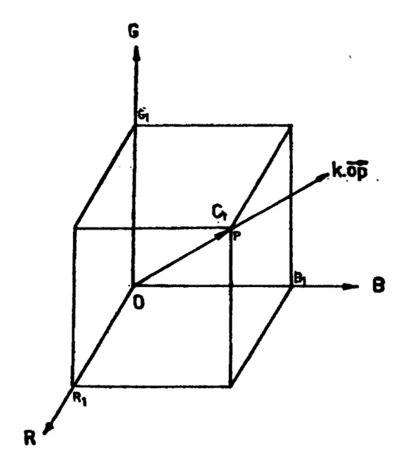
$$C_2 = R_2(R) + G_2(G) + B_2(B)$$

وبحسب قوانين غراسمان وللحصول على لون يكافئ جمع C1,C2 فإننا نجمع نسب اللونين بالشكل التالي

$$C_1 + C_2 = (R_1 + R_2) R + (G_1 + G_2) G + (B_1 + B_2) B$$

7) تمثيل الألوان في فراغ وفي مستوى

نقدر تمثيل الألوان في فراغ باختيار ثلاثة احداثيات هي B,G,R ومحاور $\vec{OG}, \vec{OB}, \vec{OR}$ انظر الشكل



إن النقطة C_1 تمثل لوناً معيناً وهي مجموعة الأشعة $\vec{G}+\vec{B}+\vec{R}$ ولكن النقطة أ تمثل نفس لون C_1 ولكن بشدة أضعف.

هذا ويمكن أن نمثل الألوان في مستوى إذا اسقطنا الشعاع OC1 على المحاور الثلاثة $\vec{OG},\vec{OB},\vec{OR}$ وتتناسب جيوب التمام للمساقط مع الكميات .

$$r_1 = \frac{R1}{R_1+G_1+B_1}$$

$$g_1 = \frac{G1}{R_1+G_1+B_1}$$

$$b_1 = \frac{B1}{R_1+G_1+B_1}$$

إن r_1, g_1, b_1 الاحداثيات المعدلة المستخدمة لتمثيل الألوان في مستوى .

مثال:

الضوء الأبيض

$$R = B = B = 1$$

وبالتعويض في المعادلات السابقة ينتج

$$r = g = b = \frac{1}{3}$$

ملاحظة : - يكون مجموع

$$r_1 + g_1 + b_1 = 1$$

ومن هذه القاعدة لا نمثل الأوان في ثلاثة احداثيات معدّلة هي r,g,b ونكتفي في تمثيل الألوان باحداثيين هما (g) و (r) في المستوى (og) و (or) ومن ثم نحصل على (b) بتطبيق المعادلة

$$b = 1 - (r + g)$$

ومن هنا وبتطبيق ما سبق

يمثل اللون الأبيض بالنقطة $W\left(\frac{1}{3}، \frac{1}{3}\right)$

اللون الأحمر يكون فيه

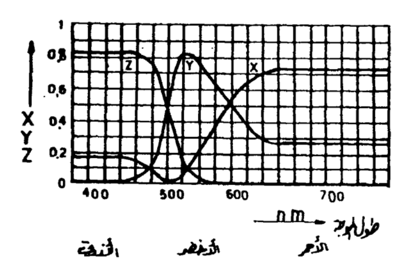
$$r = 1 , g = 0 , b = 0$$

فيمثل بالنقطة (1,0)

ومنه اللون الأخضر يمثل بالنقطة (0،1)

أما اللون الأزرق فيمثل بالنقطة (0،0)

انظر الشكل



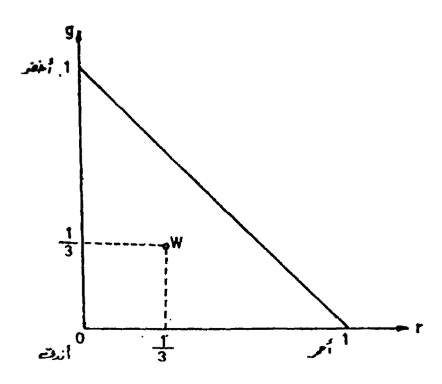
وتمثل الألوان بالوسطاء (X , Y , Z)

لقد رأينا سابقاً أن هناك ألوان ينتج فيها مركبات سالبة لذلك استُبدلت المقادير bgr بدلالات هندسية هي X, Y , Z وبدلاً من الإحداثات BGR استبدلت باحداثيات X , Y, Z مع مراعاة أن أي لون يمكن تمثيله في الربع الأول من اللون الأبيض يوافق $X = \frac{1}{3}$ ، $y = \frac{1}{3}$ وكذلك

$$x = \frac{x}{x+y+z}$$

$$y = \frac{y}{x+y+z}$$

$$z = 1 - x - y$$



انظر الشكل السابق

مثال : اللون الأحمر الذي له طول موجي $\lambda = 680nm$ قابل

$x = 0.73 \quad y = 0.27 \quad Z = 0$

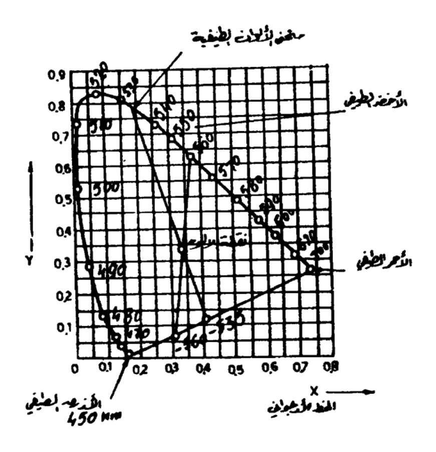
وبمعرفة القيم لتبعية الألوان يمكن أن نرسم الشكل التالي:

X=Y=Z=$\frac{1}{3}$

X

ولكن هناك منحنى آخر يسمى منحنى اللونية والذي يحتوي كافة الألوان الحقيقية أي تلك الألوان التي تميزها وتتحسسها العين.

وهو منحنى يمثل الألوان ويعطي درجات اشباعها.



إن النقاط الواقعة خارج منحنى الأوان وضمن المثلث ليســت ألـوان حقيقيـة وإنما نظرية تسمى بالألوان الوهمية .

الوحدة الرابعة

الظاهرة الضوئية

الوحدة الرابعة : الظاهرة الضوئية

أولا : - الظاهرة الكهروضوئية

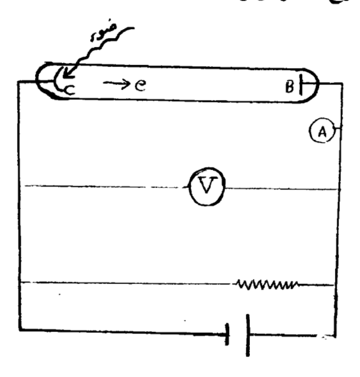
* تعريف الظاهرة :-

لقد أثبتت التجارب أنه عندما يسقط ضوء على سطح معدني فإن الكترونات تنبعث من هذا السطح، وتدعى هذه الظاهرة بالظاهرة الكهروضوئية، والالكترونات المنبعثة تسمى بالإلكترونات الضوئية .

* مكتشف الظاهرة .

هو العالم هيرتز.

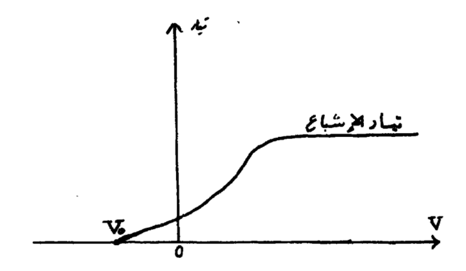
* تصميم تجربة تشرح الظاهرة وأثرها.



1) نلاحظ في الشكل (1) الأدوات التي يمكن من خلالها تصميم تجربة نلاحظ من خلالها أثر الظاهرة الكهروضوئية .

2) تتكون التجربة ببساطة من أنبوب (من الزجاج أو الكوارتز) مفرغ من الهواء داخل الأنبوب يوجد سطح معدني (C) سالب ومربوط بالقطب السالب . وكذلك سطح معدني موجب (B) ومربوط بالقطب الموجب .

3) عندما يسقط ضوء أحادي اللون (ذو طول موجي واحد) على السطح المعدني (C) السالب تنبعث بعض الالكترونات من السطح وتشكل هذه الالكترونات تياراً يمكن قياسة بواسطة الأميتر (A) .وهذه الالكترونات سوف تتجمع على السطح المعدني الموجب (B)



4) نلاحظ أن رسمة العلاقة ما بين التيار وفرق الجهد بين (C,B) موضحة في الشكل (2) .

5) والآن لو عكسنا البطارية أي جعلنا (C) موجبة و (B) سالبة ويصبح الجهد V

سالب فعندها الالكترونات الضوئية الخارجة من (C) سوف تتنافر مع الصفيحة السالبة (B). ولكن هناك الكترونات طاقتها الحركية عالية جداً بحيث أنها تستطيع أن تتغلب على قوة التنافر للقطب السالب (B). وبالتالي تصل لهذه الصفيحة السالبة (B).

6) نستمر في زيادة الجهد السالب، وكلما زدنا الجهد السالب تقلّ الالكترونات الواصلة للصفيحة (B). ....ونستمر في ذلك إلى أن يقل التيار إلى أقل قيمة وتصل قيمته إلى صفر.

يسمى الجهد عند هذه اللحظة بـ (جهد القطع) أو جهد الإيقاف (Stopping voltge) ويرمز له بالرمز Vo كما نلاحظ في الشكل (2).

7) يمكن تعريف جهد القطع بأنه (الجهد اللازم لإيقاف أكثر الالكترونات الضوئية طاقةً) وهو في هذه الحالة مقياس لطاقة حركة أسرع الالكترونات المنبعثة من المعدن.

حيث :

$$T_{max} = e\,V_o \,.........(1)$$

Vo جهد القطع .

Tmax ≡ أعظم طاقة حركة للالكترون (طاقة اسرع الالكترونات)

e = شحنة الالكترون

لكننا نعلم أن الطاقة الحركية لأي جسم هي

$T = \frac{1}{2}\, m\, V^2$ ومنها

$$Tmax = \frac{1}{2} \text{ m } V^2_{max} \text{ ....(2)}$$

m = كتلة الالكترون وتساوي $(9.1\times10^{-31}ky)$

***** بعض تأثير هذه الظاهرة لا نستطيع أن نشرحه من خلال الفيزياء الكلاسيكية أو من خلال النظرية الموجية ، ومن هذه المظاهر التي لم نستطع فهمها:-

1) لا تنبعث الالكترونات إذا كان تردد الضوء الساقط هو تحت ما يسمى ب تردد العتبة fc (cut off frequency) ، وهي خاصية للمادة .

وهذا يتناقض مع النظرية الموجية لأنها تتنبأ بأن الظاهرة الكهروضوئية تحدث عند أي تردد، وذلك إذا كانت شدة الضوء مناسبة.

2) إذا تجاوز تردد الضوء تردد العتبة، فإن الظاهرة الكهروضوئية تحدث، على أي حال فإن أعظم طاقة حركية للالكترونات الضوئية لا يعتمد على شدة الضوء، وهذه حقيقة لا يمكن شرحها من خلال الفيزياء الكلاسيكية.

3) أعظم طاقة حركية للالكترونات الضوئية ، تزداد بازدياد الضوء.

4) الالكترونات تشع من السطح تقريبا بصورة لحظية بعد سقوط الضوء عليه حتى ولو كانت شدة الضوء الساقط قليلة، ولكن كلاسيكيا فإن الواحد يتوقع أن الالكترونات سوف تأخذ بعض الوقت لتمتص الشعاع الساقط قبل أن تحصل على طاقة حركية كافية لتخرج من المعدن.

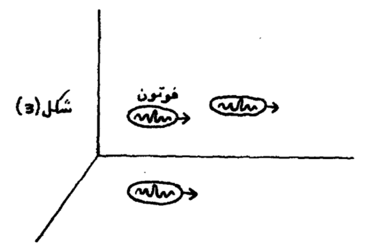
**** التوضيح الناجح للظاهرة الكهروضوئية كان بواسطة العالم آينشتاين عام 1905 حيث عمل على مفهوم بلانك في تكميم الإشعاع الكهرومغناطيسية، وافترض آينشتاين أن الضوء (أو الأمواج الكهرومغناطيسية) ذات التردد (f)

يمكن اعتبارها بأنها عبارة عن سيل من الفوتونات، وكل فوتون له طاقة مقدارها.

$E = hf$ ....(3)

حيث h هو ثابت بلانك.

وقد اقترح آينشتاين بأن الضوء يتركز في مناطق منفصلة تسمى كمات أو فوتونات... والصورة الافتراضية للفوتون هي كما في الشكل (3).



واقترح آينشتاين البسيط للظاهرة الكهروضوئية بأن الفوتون يعطي كل طاقته (hf) إلى الكترون مفرد في المعدن ...فيتحرر الالكترون من سطح المعدن بأقصى طاقة حركية هي (T_{max}) ...

وبالنسبة لآينشتيان فإن أقصى طاقة حركية للالكترونات ليتحرر هي : -

$T_{max} = hf - \varnothing$ ....(4)

حيث :

$\varnothing$:- تسمى دالة الشغل للمعدن وهي تمثل أقل طاقة ممكنة للإبقاء على الالكترون مرتبطاً بالمعدن .

***بالنظرية الكمية للضوء (نصور الضوء على شكل فوتونات) يمكن توضيح بعض مظاهر الكهروضوئية والتي لم تستطيع الفيزياء الكلاسيكية شرحها:-

1) فالحقيقة القائلة بان الظاهرة الكهروضوئية لا نستطيع ملاحظتها تحت تردد العتبة يأتي من خلال حقيقة أن طاقة الفوتون يجب أن تكون أكبر أو تساوي $\varnothing$. وإذا كانت طاقة الفوتون الساقطة لا تساوي $\varnothing$ أو ليس أكبر من $\varnothing$، فإن الالكترون سوف يتحرر من السطح بغض النظر عن شدة الضوء .

2) الحقيقة القائلة بأن **Tmax** لا تعتمد على شدة الضوء يمكن فهمها بواسطة مايلي:-

إذا تضاعفت شدة الضوء فإن عدد الفوتونات يتضاعف، وهذا يضاعف عدد الالكترونات الضوئية المتحررة.

وعلى أي حال فإن ($T_{max} = hf - \varnothing$) تعتمد فقط على تردد الضوء ودالة الشغل (**work function**)، وليس على شدة الضوء .

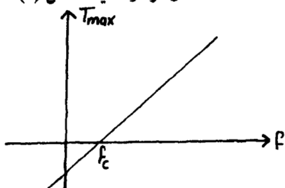
3) الحقيقة القائلة بأن **Tmax** تزيد بزيادة التردد يمكن من السهل فهمها من خلال المعادلة :-

$$T_{max} = hf - \varnothing$$

4) أخيرا فحقيقة أن الالكترونات تنبعث بصورة لحظية يمكن أن تتطابق مع النموذج الجسمي للضوء حيث الطاقة الساقطة تظهر في حزم صغيرة، ويوجد تفاعل لكل فوتون مع الكترونات واحدة. وهذا بالمقابل يمكن من طاقة الفوتونات للتوزع بصورة منتظمة على مساحة واسعة.

*** وأخيرا فإن نظرية آينشتاين تنبأت بالعلاقة الخطية بين (f) و (Tmax) وحقيقة

فقد لوحظت هذه الخطية كما تبدو مرسومة في الشكل (4)



وميل هذا المنحنى يعطي قيمة ل (h) وتقاطعه مع محور السينات يعطي (f_c) والتي تربطها علاقة مع دالة الشغل

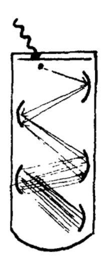
$$f_c = \frac{\varnothing}{h}$$

ومنه يمكن إيجاد استنتاج علاقة طول موجة العتبة cut off wavetength ونسميها λc حيث :-

$$\lambda c = \frac{c}{f_c}$$

$$\lambda c = \frac{c}{\varnothing / h} = \frac{hc}{\varnothing}$$

****استعمالات التأثير الكهروضوئي: -



تستعمل ظاهرة التأثير الكهروضوئي في عدة تطبيقات عملية (كالأجهزة الالكترونية الحاسة لمقياس الضوء، المضاعفات الضوئية، وكاميرات التلفاز)

فمثلا تسقط على مهبط في أنبوب ضوئي فينتج الكترونـات ضوئيـة تعطـي طاقتـها للمصعد الأول وتنتج الكترونات بعدد مضــاعف ثـم تسـقط علـى المصعـد الآخـر وتتضاعف وهكذا وفي النهاية نحصل على عدد ضخم من الالكترونات يمكن قياسه بسهولة بواسطة عدد الكتروني .

مثال (1) :-

دالة الشغل للخارصين هي $(6.8 \times 10^{-19} J)$ ، مـا هـو تـردد العتبـة للالكترونـات الضوئية الخارجة من الخارصين ؟

الحل :

$\varnothing = 6.8 \times 10\text{-}19$ J

$\varnothing = hfc$

$$fc = \frac{\varnothing}{h}$$

$$fc = \frac{6.8 \times 10^{-19} J}{6.63 \times 10^{-34} J.s} = 1 \times 10^{15} \text{ HZ}$$

مثال (2) :

سطح صوديوم معرض لضوء $(\lambda = 300nm)$،وكانت $\varnothing$للصوديوم تسـاوي 2.46V اوجد:-

1) طاقة حركة الالكترونات الضوئية المنبعثة بالالكترون فولت.

2) أوجد λc للصوديوم

3) احسب أقصى سرعة للالكترونات الضوئية على الشروط السابقة .

الحل : -

(1

E = hf

$$= \frac{hc}{\lambda}$$

$$\mathbf{E} = \frac{(6.63 \times 10^{-34} J.s)(3 \times 10^{8} m/s)}{300 \times 10^{-9} m}$$

= 6.3 × 10^-19 J

ولتحويلها إلى الكترونات فولت نقسم على **1.6 ×10^-19**

$$\mathbf{E} = \frac{6.63 \times 10^{-19} J}{1.6 \times 10^{-19} J/ev}$$

E = 4.14 eV

(2

∅ = 2.46 eV

= 3.94 × 10^-19 J

$$\lambda c = \frac{hc}{\varnothing}$$

$$= \frac{(6.63 \times 10^{-34} J.s)(3 \times 10^{8} m/s)}{3.94 \times 10^{-9} m}$$

= 5.05 × 10^-7 m

(3

Tmax = hf - ∅

= 6.63 ×10-^19 J - 3.94 ×10^-19 J

= 2.69 × 10^-19 J

$$\mathbf{Tmax} = \frac{1}{2} m\, v_{max}^{2}$$

$$2.69 \times 10^{-19} = \frac{1}{2} \times 9.108 \times 10^{-13}\ kg \times v_{max}^{2}$$

$$v_{max}^{2} = 5.91 \times 10^{11}$$

$$Vmax = 7.688 \times 10^{5}\ m/s$$

مثال (3) :-

عندما يسقط (λ= 500nm) على معدن السيزيوم فتكون أعظم طاقة حركية للالكترونات المتحررة هي (0.57eV) أوجد

أ – دالة الشغل للسيزيوم.

ب– جهد القطع إذا كان الضوء الساقط له λ= 600nm

الحل :-

أ –

$$T_{max} = hf - \varnothing$$

$$\varnothing = hf - T_{max}$$

$$T_{max} = 0.57\ eV = 0.57 \times 106 \times 10^{-19}\ J$$

$$= 9.12 \times 10^{-20}\ J$$

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8} m/s}{600 \times 10^{-9} m}$$

$$hf = 3.315 \times 10^{-19}\ J$$

ب–

$$ev_{o} = Tmax$$

$$Vo = \frac{T_{max}}{e} = \frac{T_{max}}{1.6 \times 10^{-19} c}$$

نريد Tmax

$\lambda = 500nm = 500 \times 10^{-19}\ m$

$Tmax = hf - \varnothing$

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8} m/s)}{500 \times 10^{-9} m}$$

$= 3.978 \times 10^{-19}$

$\varnothing = 2.403 \times 10^{-19}\ J$

$Tmax = 3.978 \times 10^{-19} - 2.403 \times 10^{-19}$

$= 1.575 \times 10^{-19}\ J$

$$Vo = \frac{T_{max}}{1.6 \times 10^{-9} c}$$

نريد T_{max}

$\lambda = 500\ nm = 500 \times 10^{-9}\ m$

$T_{max} = hf - \varnothing$

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{6} m/s)}{500 \times 10^{-9} m}$$

$= 3.978 \times 10^{-9}$

$\varnothing = 2.403 \times 10^{-19}\ J$ من الفرع السابق

$T_{max} = 3.972 \times 10^{-19} - 2.403 \times 10^{-13}$

$= 1.575 \times 10^{-19}\ J$

$$Vo = \frac{T_{max}}{1.6 \times 10^{-19} c} = \frac{1.57 \times 10^{19} J}{1.6 \times 10^{-9} c} = 0.9843$$

مثال (4) : – اعتبر المعادن التالية

ليثيوم ← له $\varnothing = 2.3eV$

بيريليوم ← له $\varnothing = 3.9\ eV$

زئبق ← له $\varnothing = 4.5eV$

وسقط ضوء بطول موجة (400 nm) على المعادن، أيها يحصل عنده الظاهرة الكهروضوئية .

الحل : الضوء له تردد يساوي

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{8} m/s}{400 \times 10^{-9} m}$$

$= 7.5 \times 10^{14}$ HZ

الليثيوم ←

$\varnothing = hfc$

$$f_c2 = \frac{\varnothing_1}{h} = \frac{2.3 \times 1.6 \times 10^{19} J}{6.63 \times 10^{-34} J.s}$$

$= 5.55 \times 10^{14}$ HZ

اللبريليوم ←

$\varnothing = hfc$

$$fc3 = \frac{\varnothing_2}{h} = \frac{3.9 \times 1.6 \times 10^{19} J}{6.63 \times 10^{-34} J.s}$$

$= 9.41 \times 10^{14}$ HZ

الزئبق ←

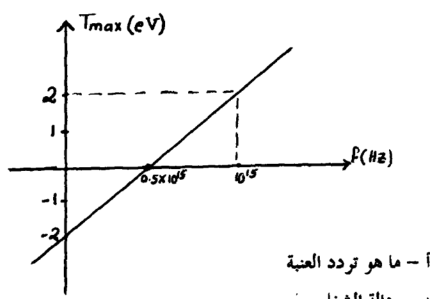
$$fc1 = \frac{\varnothing_3}{h} = \frac{4.5 \times 1.6 \times 10^{19} J}{6.63 \times 10^{-34} J.s}$$

$= 1.08 \times 10^{15}$ HZ

إذا العنصر الذي تحصل له ظاهرة كهروضوئية هو الليثيوم.

مثال (5) : –

من الرسم ، أجب على



أ – ما هو تردد العتبة

ب– دالة الشغل

جـ– التردد إذا كانت طاقة الحركة = 1eV

د– الطاقة وجهد القطع عندما $f = 1 \times 10^{13}$ HZ

الحل : –

أ – $f_c = 0.5 \times 10^{15}$ HZ

ب– $\varnothing = h\, f_c$

$$\varnothing = (6.63 \times 10^{-34}\ J.s)\ (\ 0.5 \times 10^{15}\ \frac{1}{2})$$

$$\varnothing = 3.315 \times 10^{-19}$$

جـ– التردد يساوي 0.75×10^{15} HZ

د– عندما $f = 1 \times 10^{15}$ HZ

فإن $T_{max} = 2eV$

$$= 2 \times 1.6 \times 10^{-19}\ J$$

$$T_{max} = eV_o$$

$$V_o = \frac{T_{max}}{e}$$

$$V_o = \frac{2 \times 1.6 \times 10^{19}\ J}{1.6 \times 10^{-19}\ c} = 2$$

أسئلة

س1 : دالة الشغل للبوتاسيوم تساوي (2.24eV)، إذا سقط عليه ضوء له λ=480nm أوجد :

أ – أعظم طاقة حركية للالكترونات (Tmax)

ب– λc

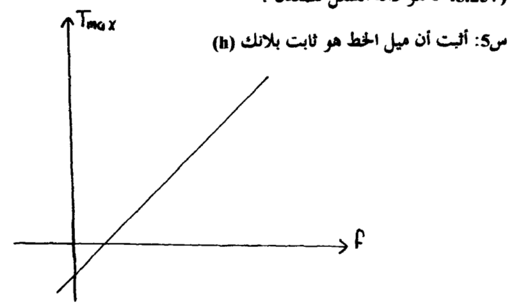
س2: الكترونات تبعث من سطح معدني بسرعة تصل عبرها الأعلى (4.6 $\times 10^5$m/s) عندما تستعمل ضوء له (λ= 625nm) احسب :

أ – $\varnothing$ ب– fc

س3: دالة الشغل للزنك تساوي (6.8×10^{-19} J) ، أوجد fc .

س4: أوجد المصادر الضوئية له (Tmax= 1.6eV) ، يشعّ ضوء ب λ .مصدر ضوئي آخر له نصف طول موجة المصدر الأول وهذا المصدر له (Tmax= 5.2eV)، ما هو دالة الشغل للمعدن .

س5: أثبت أن ميل الخط هو ثابت بلانك (h)



ثانياً : جمع وتداخل الموجات

1- المقدمة

نذكر بالمعادلة

$y = A \sin [kx - wt]$ ....(1)

وهذه المعادلة وضعت على اعتبار أن الموجة تبدأ من $x = 0$, $t = 0$ وعندها تكون $y=0$ تعرف الكمية $(kx = wt)$ بأنها الطور ويرمز لها بالرمز $\varnothing$.

$\varnothing = kx - wt$ ....(2)

إذا بدأت الحركة عندما تكون $(x= t= 0)$ فيكون الطور في هذه اللحظة مساوياً صفرا و عندئذٍ تكتب المعادلة (1) بصورة عامة بالصيغة التالية :

$y = A \sin [kx + wt + \varnothing o)$.........(3)

حيث أن $\varnothing o$ هو الطور الابتدائي أو الطور الذي تستهل به الحركة.

والطور يتغير باتجاه الموجة بصورة مباشرة مع المسافة (x) ، وثابت التناسب في هذه الحالة هو العدد الموجي (k) .

ويمكن التعبير عن فرق الطور بين نقطتين مختلفتين في وسط ما في أية لحظة بالمعادلة التالية :

$S = k (x2-x1)$

$S = K\Delta$

$S = \frac{2\Pi}{\lambda} \Delta$...........(4)

حيث (Δ) في هذه الحالة هو لمسار الضوئي وليس المسار الهندسي حيث أ، المسار الضوئي = المسار الهندسي × معامل الانكسار .

ومنه

$$\Delta = n\,d$$

n معامل الانكسار

d :– المسار الهندسي

Δ= المسار الضوئي

من (4) و (5)

$$S = \frac{2\Pi}{\lambda}\,(nd)$$

2 - جمع وتداخل الموجات التوافقية :–

ينص مبدأ تركيب أو تراكب الأمواج بأنه إذا سارت موجتين أو أكثر في نفس الوسط فإن الموجة الناتجة عند أي نقطة تساوي المجموع الجبري للاقترانات هذه الأمواج.

لنطبق هذا المبدأ على موجتين توافقيتين تسير في نفس الاتجاه في الوسط، إذا تحركت الموجتان لليمين وكان لها : –

* نفس التردد
* نفس الطول الموجي .
* نفس السعة .
* ولكنها تختلف في الطور.

هاتان الموجتان نستطيع أن نعبّر عن اقتراناتهم بالصيغ التالية :

$$y_1 = A \sin (kx - wt) \;.........(1)$$

$y_2 = A \sin(kx - wt - \varnothing o)$ ....(2)

فتنتج موجة اقترانها: –

$y = y_1 + y_2 = A[\sin(kx - wt) + \sin(kx - wt - \varnothing o)]$.....(3)

وباستخدام القاعدة (المتطابقة) التالية من علم المثلثات.

$\sin a + \sin b = 2\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)$.........(4)

ولنسمي (نفرض) أن :–

$[a = kx - wt$ .....(5)], ($b = kx - wt - \varnothing o$....(6))

وعندها تستطيع كتابة (3) بالصورة .

$y = A[\sin a + \sin b]$ ....(7)

وبتطبيق المتطابقة (4) على (7)

$y = 2A\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)$ ....(8)

ولكن بالتعويض مكان (a) و (b) بقيمهم كما فرضناها في (5) و (6) ترجع (8) كما يلي:

$$y = 2A\cos\left[\frac{(kx-wt)-(kx-wt-\varnothing_o)}{2}\right]\sin\left[\frac{(kx-wt)+(kx-wt-\varnothing_o)}{2}\right]$$

$$y = 2A\cos\left[\frac{kx-wt-kx-wt-\varnothing_o}{2}\right]\sin\left[\frac{kx-wt+kx-wt-\varnothing_o}{2}\right]$$

$$y = 2A\cos\left[\frac{-\varnothing_o}{2}\right]\sin\left[\frac{2kx-2wt-\varnothing_o}{2}\right]$$

$$y = 2A\cos\left[\frac{-\varnothing_o}{2}\right]\sin\left[\frac{2kx}{2}-\frac{2wt}{2}-\frac{\varnothing_o}{2}\right]$$

$$y = 2A\cos\left[\frac{-\varnothing_o}{2}\right]\sin\,[\,kx - wt - \frac{-\varnothing_o}{2}\,]$$

(ومن الخاصية بأن cos6 = cos (o) تصبح y)

$$y = 2A\cos\left[\frac{-\varnothing_o}{2}\right]\sin\,[\,kx - wt - \frac{-\varnothing_o}{2}\,]$$

$$y = 22A\ \cos\frac{-\varnothing_o}{2}\ [\,kx - wt - \frac{-\varnothing_o}{2}\,]$$

نلاحظ أن الموجة المركبة لها مايلي:

1- لها نفس الطول الموجي والتردد اللذين للموجتين المتداخلين.

2- السعة للموجة الحركية هي :

$$[\,2A\cos\frac{+\varnothing_o}{2}\,]$$

3- وطورها يساوي $\frac{-\varnothing_o}{2}$.

ملاحظات :

1- لو كان ثابت الطور $\varnothing o$ يساوي 0 فعندها

$$\cos\frac{+\varnothing_o}{2} = \cos o = 1$$

وتكون السعة حينها

$$2\,A\cos\frac{\varnothing}{2} = 2Ao$$

وبمعنى آخر فإن السعة للموجة المركبة (المحصلة) هي ضعفي السعة لأي من الموجتين المفردتين .

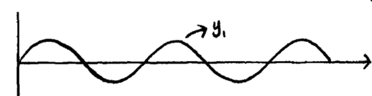
وفي هـذه ا لحالـة يقـال عـن الأمـواج بأنـها (in phase)، ولذلـك تتداخـل بنائيـا constructively ⇐ أي أن القمم والقيعـان للأمـواج المفـردة تحصـل عنـد نفـس النقاط .

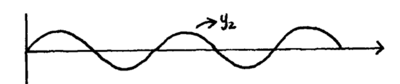
وبشكل عام فإن التداخل البناء (constructive interference) يحدث عندما

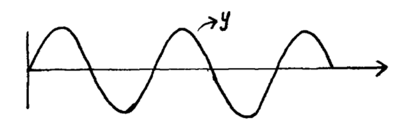
$$\cos \frac{\varnothing}{2} = \pm 1$$

or $\varnothing = o$ و $2\Pi , 4\Pi$

انظر الشكل (1)







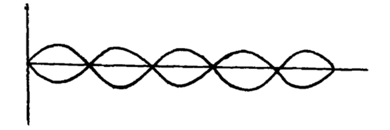
(2) إذا كانت ($\varnothing=\Pi$) أو أي عدد فردي مضروب ب Π فإن

$$\cos \frac{\varnothing}{2} = \cos \frac{\Pi}{2} = 0$$

وعندها فإن الموجة المركبة (المحصلة) يكون لها السعة تساوي صفر في كل مكان وعندها يقال بأن الموجتين المفردتين تداخلتا هدميا.

أي أن كل قمة في إحداهما تطابقت مع كل قاع في الأخرى وأنتجا مسافات تلغي بعضها عند كل مكان.

انظر الشكل (2)



3- إذا كانت قيم (Ø) ما بين (0) و (Π)

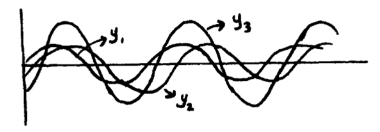
$0 < Ø < Π$

فيكون الناتج موجة لها سعة وهذه السعة لها قيمة أكبر من 0 ن أقل من 2Ao

مثال :

$Ø = 60$

انظر الشكل (3)



ثالثا : ظاهرة التداخل

هناك ظواهر لم تستطيع الطبيعة الجسمية تفسيرها مثل الحيود التداخل، ولكن اعتبار الضوء بأن له طبيعة موجية... استطاع أن يفسر بوضوح.

وسنتناول ظاهرتي التداخل والحيود بالتفصيل...وسنبدأ بظاهرة التداخل.

⇐ **شروط التداخل: -**

في مناقشتنا لاتداخل (تراكيب) الموجات في الدرس السابق، وجدنا أنه يمكن لموجتين أن تجمعا بنائيا أوَ هدميا.

في التداخل البناء يكون (سعة) الموجة المحصلة أكبر من سعة الموجتين المفردتين كلا على حدة .

ما ينطبق على الأمواج في موضوع التداخل، ينطبق أيضا على موجات، الضوء... وبشكل رئيسي فإن التداخل المتعلق بالأمواج الضوئية يحدث كنتيجة لتوحيد وضم المجالات التي تشكل الأمواج المفردة.

ظاهرة التداخل تأثيرها في أمواج الضوء من الصعب ملاحظتها بسبب قصر أطوالها الموجية (تقريبا ما بين 7×10^{-7} m - 4×10^{-7} m)

* وليحدث التداخل يجب أن تحقق الشروط التالية: -

1- المصادر يجب أن تكون مترابطة (coherent) ... أي أنها يجب أن تحافظ على طور ثابت بالنسبة لبعضها البعض.

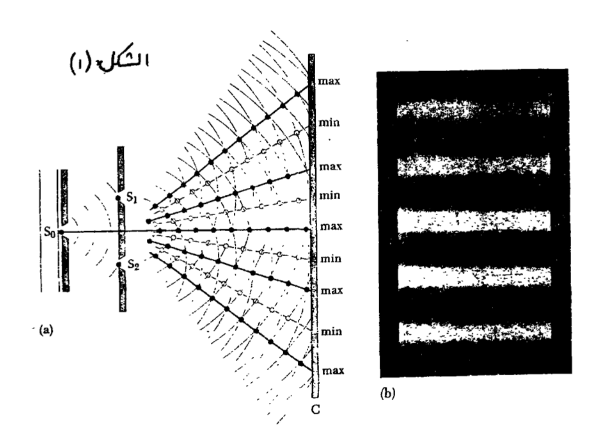
2- هذه المصادر يجب أن تكون أحادية الطول الموجي (monochromatic) أي لها طول موجي مفرد.

3- مبدأ جمع الموجات (superposition) يجب أن يطبق.

⇐ تجربة الشق المزدوج يونغ

young's Double - Slit Experimennt

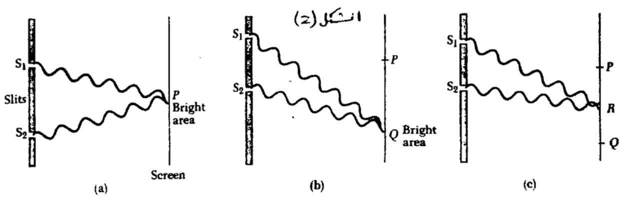
إن ظاهرة تداخل أمواج الضوء من مصدرين جربت أولا من قبل ثوماس يونغ عام 1801. ومخطط الرسم للأدوات المستعمل في التجربة يرى في الشكل (1)، الضـوء يسقط على شاشة والمزود بثقب ضيق (So) .... الأمواج الناشئة مـن الشـقّ تصـل إلى شاشة ثانية، والتي تحـتوي ثقبـين ضيقـين متوازيـين همـا (S1) و (S2)، وهـذان الشقان يعملان كمصدران مترابطان، لأن الأمـواج الناشئـة منـها تنتـج مـن نفـس مقدمة الموجة، ولذلك تحافظ على علاقة طور ثابت بينهما...



الضوء من الشقين ينتج شكلا من الضوء على الشاشة (c) وهـذا الشكـل يتـألف من سلسلة من الحزم المضيئة والمظلمة والمتوازية والتي تسمى الأهداب.

عندما يصل الضوء من الشق (S1) والشق (S2) إلى نقطة علـى الشاشـة (c) فإنـه يحدث تداخل بناء عند تلك النقطة .

وعندما يتحد الضوئين بطريقة هرمية عند أي نقطة على الشاشة (c)، فإنـه يظـهر منطقة مظلمة عند تلك النقطة .



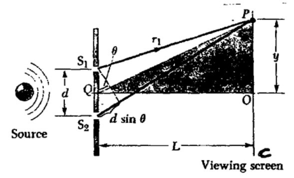
الشكل (2) هو رسم تخطيطي لطرق عديـدة يتم مـن خلالها اتحـاد موجتـين علـى الشاشة في الشكل (2–أ)، موجتان تغادران الثقفين تكونان (in phase) تصطدمان الشاشة عند النقطة المركزيـة أ ولأن هـاتين الموجتـان تسـيران مسـافتين متسـاويتين أيضا يصلان (in phase) عند النقطة أ وكنتيجة فإنه يحصل تداخل بنّاء عنـد تلـك النقطة وعندها يمكن ملاحظة منطقة مضيئة.

في الشكـل (2–ب) :– فـإن موجـتي الضـوء تبـدءان (in phase)، لكـن الموجـة العلوية يجب عليها أن تسير مسـافة طـول موجـي زيـادة لتصـل النقطـة (Ø) علـى الشاشة.

ولأن الموجة العلوية تقع خلف الموجة الشكلية بمقدار طول موجي واحـد، ولذلـك يبقيان يصلان (in phase) عند (Ø). ولذلك يتشكل عند (Ø) منطقة مضيئة.

في الشكل (2—حـ) دعنا نعتبر النقطة (p) بين (أ) و (Ø). عند هذه النقطـة تكـون الموحة العلوية متأخرة عن الموجة المنخفضة بنصف طول موجي، وهذا يعني أن قاع الموجة السـفلية يتخطى القمة عـن الموجـة العلويـة، وهـذا يعـني أن قـاع الموجيـة العلوية، وهذا يسبب في حصول تداخل هـدّام، ويحـدث عنـد هـذه النقطـة منطقـة مظلمة .

والأن نأتي لشرح تجربة يونغ بالتفصيل بمساعدة الرسم في الشكل (3—1)



لنفرض النقطة (أ) على الشاشة (C) التي تقع بشكل عمـودي على المسـافة بينـها وبين الشاشة التي تحتوي شقين (S1) و (S2) .....وسـندعو تلـك المسـافة (L) .... والمسافة بين الشقين هي.

لنفرض أن مصدر الضوء أحادي الطول الموجي وتحت هذه الشروط فإن الموجـات المنبثقة من (S_1) و (S_2) سيكون لها نفس التردد والسعة وستكون (in phase) .

ستكون شدة الضوء عند النقطة (أ) على السطح للشاشة هو نتيجة للضوء القـادم من كلا الشقين.

نلاحظ أن الموجة من الشق السفلي تسير مسافة أكبر من الموجة من الشق العلوي بمقدار (dsinθ) ...هذه المسافة تسمى فرق المسار (S) حيث

$S = r_2 - r_1 = d \sin\theta$ ....(1)

هذه المعادلة افترضت أن (r2) و (r1) متوازيان ، وهذا تقريبا كلام سليم لأن (L) أكبر بكثير من (d) .

والآن إذا كان فرق المسار إما صفرا، أو عدد صحيح مضروب ب (λ)، والموجتان تكونان (in phase) عند (أ) ويحصل عندها تداخل بناء.

لذلك فإن الشرط للأهداب المضيئة أو التداخل البناء عند (أ) يعطي بالعلاقة

$S = d \sin\theta = m\lambda$

$(m = 0, \pm 1 , \pm 2, \pm 3, ...)$

m تسمى رتبة العدد (order number) وتكون الهدب المضيء المركزي عند) (θ=0) حيث عندها (m= 0) وتسمى الرتبة العظمى الصفرية ومصطلحها الأجنبي هو (Zeroth-order maximum) الرتبة العظمى الأولى من ل جانب (أعلى وأسفل) هي عندما (m ±1) وتسمى first order maximum وهكذا.

وبالمثل عندما (S) تكون عدد فردي من الأطوال الموجية ، أي عدد صحيح مضروب ب $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$، فإن الموجتين الواصلتين ل (p) سوف تكون (180° out of phase) وسوف تعمل على تداخل هدام ... لذلك شرط حدوث الأهداب المظلمة أو التداخل الهدام عند (أ) يعطي بالعلاقة :

$S = d \text{ sine } \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda$

$(m = 0 , \pm 1 , \pm 2, \pm 3,.........)$

والآن من المفيد الحصول على تعابير لمواقع الأهداب المضيئة والمظلمة مقامة بشكل عمودي من (0) إلى (p)، أكبر بكثير من طول الموجة.

وهنا تكون θ صغيرة ولذلك يمكن استعمال التقريب التالي عندما θ صغيرة كـ–

$$\theta = \sin\theta = \tan\theta$$

من المثلث OPQ في الشكل (3) سوف نرى ما يلي: –

$$\sin\theta = \tan\theta = \frac{y}{l} \text{............}(4)$$

باستعمال هذه النتيجة مع العلاقة رقم (2) سوف نرى بأن مواقع الأهداب المضيئة مقاسة من عند (0) تعطى بواسطة

$$y \text{ bright} = \frac{\lambda L}{d} m \text{ ....}(5)$$

وبشكل مشابه باستعمال العلاقـات (3) و (4) ، سوف نجد أن مواقع الأهـداب المظلمة مقاسة عند (0) تعطى بواسطة

$$y_{bright} = \frac{\lambda L}{d}\left(m + \frac{1}{2}\right)$$

مثـال : – شاشـة تبعـد عـن شاشـة أخـرى ذات ثقبـين مسـافة مقدارهـا (1.2m) .....والمسافة بين الثقبين هي (0.03m) ... الرتبة الثانية المضيء (m=2) تقاس على أنها (4.5cm) من الخط العمودي.

أ) حدد الطول الموضي للضوء .

ب) احسب المسافة بين كل هدبين مضيئين متتاليين .

الحل : –

$m = 2 \quad y_2 = 4.5 \times 10^{-2}$ m $\quad L = 1.2$m $\quad d = 3\times10^{-5}$ m .

$$y_{bright} = \frac{\lambda L}{d} m$$

$$y2 = \frac{\lambda L}{d} \times 2$$

$$\lambda = \frac{dy_2}{2 \times l}$$

$$\lambda = \frac{(3 \times 10^{-5} m)(4.5 \times 10^{-2} m)}{2 \times 1.2m}$$

$$\lambda = 5.62 \times 10^{-7} \text{ m} = 562 \text{ nm}$$

$$y_{m+1} - y_m = \frac{\lambda L(m+1)}{d} - \frac{\lambda Lm}{d}$$

$$= \frac{\lambda L}{d}$$

$$= \frac{(5.62 \times 10^{-7} m)}{3 \times 10^{-5} m}$$

$$= 2.25 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

مثال : – مصدر ضوء يشع ضوءا ذو طولين موجيين في المنطقة المرئية، يعطيان كالتالي

$\lambda = 510\text{nm}$, $\lambda = 430$ nm

المصدر يستعمل في جربة التداخل لشقين حيث : –

$L = 1.5\text{m}$, $d = 0.025$ mm

أوجد الفرق بين رتبة الهدب المضيء الثالث المعلقة بتلك الأطول الموجية .

الحل : – نعرف أن

$$y_{bright} = \frac{\lambda L}{d} m$$

سوف نسمي Y عند λ والرتبة الثانية ب Y3

سوف نسمي Y عند λ والرتبة الثالثة ب Y3

$$y_3 = \frac{\lambda L}{d}\ m = \frac{3\lambda L}{d} = \frac{3 \times 34010^{-9} \times 1.5}{0.0253 \times 10^{-3}}$$

$= 7.74 \times 10^{-2}$ m

$$y_3^1 = \frac{\lambda^{-} L}{d}\ m = \frac{33\lambda' L'}{d} = \frac{3 \times 34010^{-9} \times 1.5}{0.0253 \times 10^{-3}}$$

$= 9.18 \times 10^{-2}$ m

الفرق بين Y_3 و Y'هو

$\Delta y = Y'_3 - y3$

$= 9.18 \times 10^{-2}$ m - 7.74 ×10-2 m

$= 1.44 \times 10^{-2}$m

=1.44 cm.

مثال :

زوج من شقين متوازيين ضعفين المسافة بينهما (0.25mm) جعلناهما يصدران ضوءا أخضر (λ=546 nm)ولاحظنا التداخل على شاشة تبعد مسافة (1.2m) عن شاشة الشقين، احسب المسافة عن الرتبة المركزية إلى الربتبة الأولى من الأعلى والأسفل.

L - 1.2 m   d = 0.25mm - 0.25 ×10-3 m

λ = 546 nm

$$y_{bright} = \frac{\lambda L}{d} \times m$$

$$y_1 = \frac{(546 \times 10^{-9} m)(1.2m)}{(0.25 \times 10^{-3} m)} \times 1$$

$= 2.62 \times 10^{-3}$ m

مثال : تجربة يونغ لتداخل أجريت بضوء ليزر أزرق مخضر، ... المسافة بين الشقين تساوي (0.5mm) ونظام التداخل يحصل على شاشة تبعد (3.3m) ... وعند هذا سوف نرى الرتبة العظمى الأولى على مسافة 3.4mm من المركز ما هي طول موجة هذا اللون .

الحل: -

λ= ?

L = 3.3m   d = 0.5×10-3m

y_1 = 3.4 ×10-3 m

$$y_{bright} = \frac{\lambda L}{d} \ m$$

$$y_1 = \frac{\lambda L \times 1}{d}$$

$$\lambda = \frac{d y_1}{L}$$

$$\lambda = \frac{0.5 \times 10^{-3} m \times 3.4 \times 10^{-3} m}{3.3 m}$$

$$= 5.15 \times 10^{-7} \ m = 515 \times 10^{-9} \ m = 515 \ nm.$$

أسئلة على تجربة يونغ

س1:- شعاع ليزر ($\lambda = 632nm$) يسقط على شقين يبعدان عن بعضهما (0.2mm) تقريبا، كم بعد المسافة يجب أن تكون بين خطوط التداخل على الشاشة التي تبعد (5m) عن الشقين.

س2:- الشق في التجربة يونغ يشع بضوء أحادي طول الموجة... الحزمة المظلمة الثابتة تقع على بعد (9.5mm) عن الحزمة العظمى المركزية .. الشقان يبعدان عن بعضهما (0.15mm) والشاشة تقع على بعد مقداره (90cm) عن الشقين، احسب الطول الموجي للضوء المستخدم.

س3:- الضوء الأصفر ($\lambda = 587nm$) يسمح له بالسقوط على سطح يحتوي على سطح يحتوي شقين متوازيين المسافة بينهما (0.2mm)، الشاشة موقعها بحيث أن الحزمة المضيئة الثابتة في نظام التداخل تقع على مسافة تساوي (10 أمثال المسافة بين الشقين والهدب المركزي احسب المسافة بين المصدر والشاشة.

س4:- في تجربة يونغ، الشقين يشعّان ضوءا طوله الموجي (680nm)، إذا كان الهدب لمضيء الثاني على بعد (3.5cm) من الخط الرئيسي، وبعد الشقين عن الشاشة يساوي (2m) احسب : -

أ - الفرق في المسافة بين الشقين.

ب- موقع الهدب الثاني المظلم.

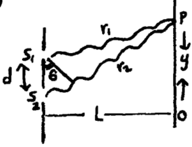
س5:- ضوء طوله 546nm ينتج نظام يونغ للتداخل حيث الرتبة الدينوية تكون على طول الاتجاه الذي يعمل زاوية مقدارها 16 دقيقة من قوس، بالنسبة لاتجاه العظمى المركزية ما هي المسافة بين الشقين المتوازيين.

توزيع شدة الضوء في تجربة الشقين ليونغ.

تحدثنا عن التداخل البناء والهدم.الآن نريد أخذ المركبة الكهربائية (E) للموجتين

$E_1 = Eo \sin wt$

$E_2 = Eo \sin (wt + \varnothing)$



وكما تحدثنا سابقا بأن :

$S = r_2 - r_1 = d \sin\theta$

$S = \lambda$

* عندما يكون فرق المسار هو (λ) يكون فرق الطور (2Π) ويحدث تداخل بناء .

* عندما يكون فرق السار هو $\frac{\lambda}{2}$ = ق يكون فرق الطـور (Π) ويـدث تداخـل هدام .

مما سبق تصل ل

$$\frac{S}{\varnothing} = \frac{\lambda}{2\Pi} \quad ....(1)$$

$$\varnothing = \frac{2\Pi}{\lambda} S = \frac{2\Pi}{\lambda} d \sin\theta \quad ....(2)$$

الان نريد أن نطبق مبدأ تراكب الموجات على تراكب (E_2,E_1) عند النقطة (أ) أي نريد المحصلة (Ep) عند النقطة (أ) الناتجة من ا لتقاء (E_2,E_1)

$Ep = E_1 + E_2$

$Ep = Eo [\sin wt + \sin (wt + \varnothing)] \quad .....(3)$

نطبق القاعدة الرياضية التالية على (3)

$$\sin A + \sin B = 2\sin\left(\left(\frac{A+B}{2}\right)\cos\left(\frac{A-B}{2}\right)\right)$$

بفرض أن $A = wt + \varnothing$ و $b = wt$

تصبح (3) كما يلي:

$$Ep = 2Eo\cos\left(\frac{\varnothing}{2}\right)\ \sin\left(wt + \frac{\varnothing}{2}\right) \ldots\ldots.(4)$$

رمز شدة الضوء هو I

والشدة تعتمد على مربع محصلة المجال الكهربائي عند نقطة

$$I \propto E_p^2$$

$$I = 4\ E_0^2\ \cos^2\left(\frac{\varnothing}{2}\right)\ \sin\left(wt + \frac{\varnothing}{2}\right) \ldots.(4)$$

وإذا أردنا معدل الشدة = $I_{average}$ فإنها تساوي :

$$I_{ave} = Io\ \cos_2\left(\frac{\varnothing}{2}\right) \ldots..(6)$$

ولكن من (2) فإن

$$\varnothing = \left(\frac{\Pi d\sin\theta}{\lambda}\right) \ldots..(7)$$

ونعرف بأن

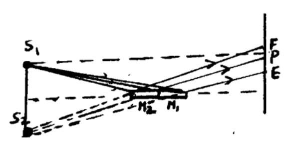
$$\sin\theta = \frac{k}{L}$$

$$Iave = I\cos^2\left(\frac{\Pi d\,y}{\lambda L}\right) \ldots.(8)$$

أنواع أخرى للتداخل

1- مرايا لويدز

لعمل متداخل من مصدر واحد (s) يتم استخدام مبدأ مرايا لويدز كما في الشكل.



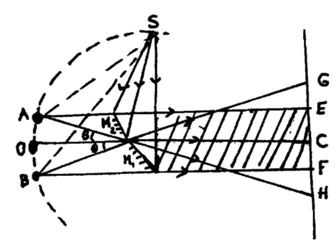
حيث يوضع المصدر الضوئي قريبا من مرآة.

أمواج الضوء تصل إلى النقطة (أ) من خلال طريقتين...إما عن طريق (50) و الإنعكاس عن المرآة إلى (أ) أوجد مباشرة (s إلى P)

الشعاع المنعكس يمكن معاملته كشعاع ناتج عن المصدر الضوئي S خلف المرآة (أي صورة المصدر الرئيسي S حيث يعتبر كمصدر خيالي.

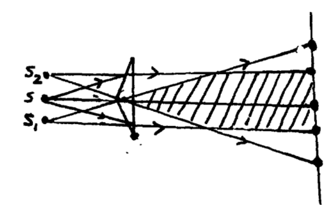
أصبح الآن النقطة(P) وأصبح هناك مصدرين للضوء. وموجتين وكأن هناك ما يسببه تجربة يونغ ذات الشقين. حيث تلتقي الموجتين عند (p) ويحدث تداخل هناك.

2- مرايا فرنل Fresnel mirrors



نلاحظ هناك المصدرين هما الصورتين الخياليتين لمصدر ضوئي s من خلال تشكلهما بمرآتين هما (M_1) و (M_2) وهنا لا يسمح للضوء أن يصل بصورة مباشرة إلى الشاشة.

3– المنشور المزدوج لفرنل Fresel Bipriam

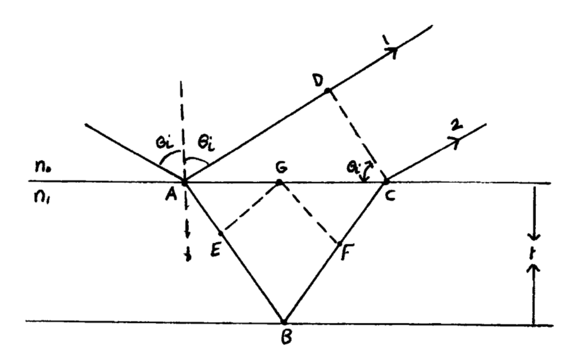


المصدرين هما S_2 و S_2 وهما صورتان خياليتان لمصدر (S) تتشكلان من خلال نصفي موشور مزدوج .

التداخل في الأغشية الرقيقة

الغشاء الرقيق :– هو وسط بصري ذو معامل انكسار معين يمتلك سمك رقيق جدا.

انظر إلى الشكل :–



r = سماكة غشاء رقيق .

θI = زاوية السقوط والانعكاس (متساويتين)

θr = زاوية الانكسار .

no = معامل انكسار الهواء

n = معامل انكسار الغشاء الرقيق .

من خلال القانون سنل للانكسار

no = sin θi = n sin θ r ....(1)

ومن الرسم نجد أن

$\sin \theta r = (\frac{AE}{AG})$ ....(2)

ومنه

$$AE = AG \sin \theta r = (\frac{AC}{2}) \sin \theta r \ ....(3)$$

وأيضاً

$$\sin \theta i = (\frac{AD}{AC})$$

$$AD = AC \sin \theta i \quad ....(4)$$ أي أن

$$AB = BC$$

$$D = (AB + BC)\, n - AD \ .....(5)$$

$$\cos \theta r = \frac{r}{AB}$$

ومنه

$$AB = \frac{r}{\cos \theta_r} = BC \ ....(6)$$

$$AC = 2AG \ ....(7)$$

$$\tan \theta r = \frac{AG}{r}$$

ومنه

$$AG = r \tan \theta r \ ....(8)$$

من (4)

$$AD = AC \sin \theta i$$

ومن (7) تصبح (4)

$$AD = 2\, AG \sin \theta i \ ....(9)$$

ومن (8) تصبح (9)

$$AD = 2t \tan \theta r \sin \theta i \ ....(10)$$

$$AB + BC = \frac{2t}{\cos\theta_r} \quad .....(11)$$

عوض (10) و (11) في (5)

$$\Delta = \frac{2nt}{\cos\theta_r} - 2t \tan \theta r \sin \theta i \quad ....(12)$$

no sin θi = n sin θr ← (1) من

$n_o = 1$ للهواء

وبه تصبح (1)

sin θI = n sin θr

عوضها في (12)

$$\Delta = \frac{2nt}{\cos\theta_r} - 2tn \sin \theta r \tan\theta 1 \quad ......(13)$$

$$\Delta = \frac{2nt}{\cos\theta_r} - 2tn \sin \theta r \frac{\sin\theta_r}{\cos\theta_r} \quad ....(14)$$

$$\Delta = \frac{2nt}{\cos\theta_r} - 2tn \frac{\sin^2\theta_r}{\cos\theta_r} \quad ....(15)$$

$$\Delta = \frac{2nt}{\cos\theta_r} (1 - \sin 1 \theta r) \quad ....(16)$$

1 = sin 2 θr + cos2θ

1- sin2 θr = cos2 θ

عوضها في (16)

$$\Delta = \frac{2nt}{\cos\theta_r} \cos 2 \theta r$$

Δ = 2nt cosθr

تبين بالتجربة أن طول الموجة (2) يختلف عن طول الموجة (1) بنصف طول موجي أي $(\frac{\lambda}{2})$ نتيجة انتقال الموجة من الهواء لزجاج يحصل تغير في الطور مقداره Π أو $(\frac{\lambda}{2})$ ويجب أخذ هذا في عين الاعتبار عند حساب شروط النهايات العظمى (بناء) والصغرى (هدّام) للتداخل ويعني

$\Delta = m\lambda$ عظمى

$\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$ صغرى

وعند التغير تصبح

$\Delta = m\lambda - \frac{\lambda}{2}$

$\Delta = (m - \frac{1}{2})\lambda$ عظمى

وللصغرى

$\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda - \frac{\lambda}{2}$

$\Delta = m\lambda \leftarrow$ صغرى

فتصبح شروط التداخل

$\Delta = 2nt \cos \theta r = (m - \frac{1}{2})\lambda$ عظمى

$\Delta = 2nt \cos \theta r = m\lambda$ صغرى

مثال : – غشاء من الصابون يسقط عليه ضوء بزاوية 40o عند اختبار الضوء المنعكس يظهر طيف يختفي الطول الموجي (500nm) " أي النهاية الصغرى أوجد

سمك غشاء الصابون علما بأن معامل انكسار الصابون هو 1.38.

$n_1 \sin \theta i = n_2 \sin \theta r$

$$\sin \theta r = \frac{\sin \theta_i}{n_2} = \frac{\sin 45}{1.38}$$

$\sin \theta r = 0.47$

$\theta r = 27.7$

$2nt \cos \theta r = m\lambda$

$t \times 2 \times 1.338 \times \cos 27.7 = 1 \times 500 \times 10^{-9}$

$$t = \frac{500 \times 10^{-9}}{2 \times 1.38 \times \cos 27.7}$$

$t = 2.046 \times 10^{-7}$ m

مثال : فقاعة صابون تشاهد في ضوء طوله الموجي 550nm انعكاسا قويا للضوء نهاية عظمى وخاصة عند الرتبة الأولى ، وكان السقوط عموديا، جد سمك الفقاعة علما بأن معامل انكسار الصابون N= 1.38

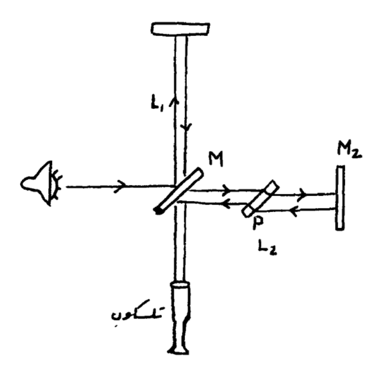
$$2nt \cos\theta r = (m - \frac{1}{2}) \times 550 \times 10^{-9}$$

$$r = \frac{275 \times 10^{-9}}{2 \times 1.38 \times \cos(0)}$$

$r = 9.96 \times 10^{-8}$

مقياس ميكلسون للتداخل The Michelson Interferometer

مقياس ميكلسون هو كما في الشكل ... الشعاع الضوئي الخارج من المصدر الضوئي يحدث له ازاحتين بواسطة المرآة M المائلة بزاوية 45^0 عن الشعاع الساقط.



احد الشعاعين ينعكس عموديا للأعلى باتجاه المرآة M1 .

الشعاع الثاني ينفذ أفقياً خلال M باتجاه المرآة M2 .

مساري الشعاعين هما L1 و L2 .

بعد أن ينعكس الشعاعين من (M1) و (M2) يعودان ويتحدان وينتجان نظام تداخل والذي يمكن ملاحظته من خلال التلكسوب.

شروط التداخل للشعاعين يتحدد من خلال الاختلاف في مسارهما البصري.

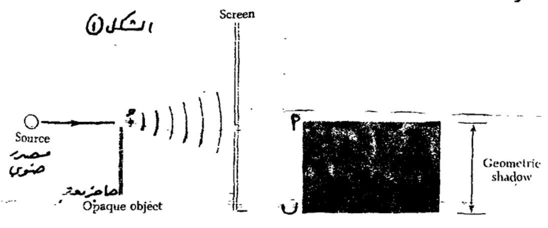
رابعا : - ظاهر الحيود

لاحظ العلماء بأن أمواج الضوء المارة من خلال شق تصل إلى المناطق التي يتوقع أن يكون فيها ظل (وهذا ينافي مبدأ سير الضوء بخطوط مستقيمة)، أي أن الضوء انحنى عن الزوايا..

وهذا هو ما يسمى بحيود الضوء (أي انحراف الضوء بشرط أن لا يكون هذا الانحراف انعكاسا أو انكسارا)

مثال (1)

انظر الشكل (1) ضوء يصدر عن مصدر ضوئي سوف يعترض طريقه حاجز معتم وسوف نتوقع وجود ظل في المنطقة (أ،ب) نتيجة سير الضوء في خطوط مستقيمة ولكننا سوف نرى حقيقة أن هناك ضوءا وصل للمنطقة التي من المفروض أن تكون ظلاً ...



وهذا يتم تفسيره بافتراض أن الضوء يسير على شكل أمواج وأن أي نقطة على الموجة تعتبر كمصدر ضوئي فمثلا في الشكل (1) إن النقطة (جـ) على الموجة تعتبر من هذه الأمواج إلى منطقة الظل.(أ،ب)

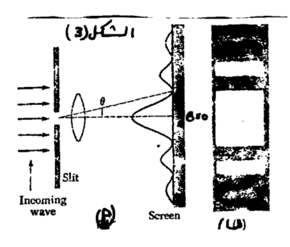
* مثال (2) أجرى العلماء تجربة على قطعة معدنية بتعريضها للضوء أي موضع القطعة النقدية أمام مصدر ضوئي نقطي وتوقع العلماء الحصول على ظل كامل للقطعة النقدية ... لاعتقادهم بأن الضوء يسير بشكل خطوط مستقيمة ولكنهم حصلوا على الشكل (2)... حيث نلاحظ من هذا الشكل وجود نقطة مضيئة في منتصف الظل وهذه النقطة المضيئة لا يمكن وصفها إلا من خلال افتراض أن الضوء على شكل أمواج وحصل حيود لأمواج الضوء



* انواع الحيود :-

1- حيود فرانهوفر Fraunhofer Diffroction

بشكل عام يحدث الحيود عندما تمر الأمواج خلال عوائق دائرية صغيرة مفتوحة أو من خلال حواف حادة .



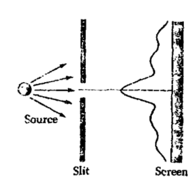
الشكل (3) يمثل حيود فرانهوفر والذي يحدث عندما تكون شاشة العرض بعيدة عن الثقب حيث تصل الأشعة لنقطة تقريبا بشكل متوازي. وقد نستعيض عن ذلك باستعمال عدسة لامة لتبئير حزمة الأشعة المتوازية على الشاشة.

الشكل (3–أ) يمثل رتبة مضيئة بأعلى شدة عندما $(\theta = 0)$ وسوف يكون هناك تناوب في الهدب المضيئة والمظلمة على جانبيه. (θ هي الزاوية بين الشعاع الساقط والمنحاد).

الشكل (3–ب) يرينا صورة فوتوغرافية لحيود فرانهوفر من خلال شق مفرد .

2- حيود فرينيل .Fresnel Diffroction

وذلك عندما يكون الشاشة على مسافة محددة من الثقب ولانستعمل عدسة لتبئير الأشعة المتوازية انظر الشكل (4)



• الحيود عن شق مفرد Single - Slit Diffraction

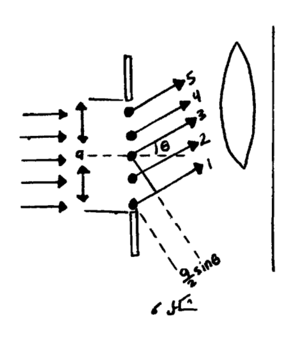
الشقوق الواصل لها الضوء تعتبر كمصادر ضوئية يبدو وكأن لاضوء قادم منها انظر لشكل (0)

انظر إلى الشكل (6) ... فإنه من خلال مبدأ هايجنز، وكل منطقة في الثقب تتصرف كمصدر للأمواج... وكل هذه الأمواج القادمة من منطقة في الثقب سوف تلتقي مع أمواج قادمة من منطقة أخرى وسوف تعتمد الشدة الناتجة على الشاشة على الزاوية θ.

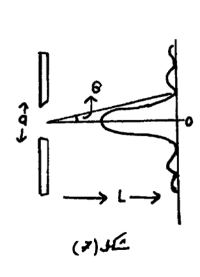
لفهم مبدأ الحيود يجب أن نقسم الثقب إلى قسمين فإذا كان عرض الثقب (a) تصبح القسمين $(\frac{a}{2})$ و $(\frac{a}{2})$.

لنأخذ الشعاع (1) الناتج من الأسفل والشعاع (3) من المركز للثقب... الشعاع (1) يسير مسافة اكبر من (3) بمقدار يساوي الفرق المسار $(\frac{a}{2})\sin\theta$ وأيضا فرق المسار ما بين الشعاع (2) و (4) هو $(\frac{a}{2}\sin\theta)$

وإذا كان فرق المسار هذا يساوي $(\frac{\lambda}{2})$ ... فإن الشعاعين أو الموجتين سوف يحصل لهما في النهاية تداخلا هداما.... وهذا يحدث لأي موجتين صادرتين عن نقطتين بينهما مسافة مقدارها نصف عرض الثقب $(\frac{a}{2})$ لأن فرق الطور حينها سيكون (180°) وبالتالي سيكون فرق المسار $(\frac{\lambda}{2})$.... لذلك فالأمواج من النصف العلوي للثقب تتداخل بشكل هدمي مع الأمواج الصادرة عن الجزء السفلي.



شكل 6



شكل (ح)

إذا يحدث التداخل الهدام عندما

$$\frac{a}{2}\sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

أو بالمضروب في (2)

$$a\sin\theta = \lambda$$

ومنه

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$$

والآن لو قسمنا لثقب إلى أربع أقسام بدلا من قسمين واستخدام ماسبق ذكره سوف نجد أن الشاشة سوف تكون فيها مناطق مظلمة عندما

$$\sin\theta = \frac{2\lambda}{a}$$

بينما لو قسمنا الثقب ل 6 أقسام فسوف تحدث المناطق المظلمة عندما

$$\sin\theta = \frac{3\lambda}{a}$$

لذلك فإن الشرط العام لحدوث تداخل هدّام :-

$$\min \leftarrow \sin\theta = m\frac{\lambda}{a} \quad (m = 1\pm, \pm2, \pm3, \ldots\ldots)$$

والتوزيع للشدة على الشاشة سوف يكون كما في الشكل (7)

أما شروط التداخل البناء أو النهايات العظمى سوف تكون عندما

$$\sin\theta = (2m+1)\frac{\lambda}{2a}$$

أسئلة :-

س1: ضوء طوله الموجي (580 nm) يسقط على ثقب وعرضها (0.30mm) شوهد مناطق الحيود على شاشة العرض يقع على بعد (2m) من الثقب. أوجد موقع الهدب المعتم الأول وأوجد عرض الهدب المركزي المضيء.

$A = 0.3 \times 10^{-3}$ m $\lambda = 580 \times 10^{-9}$ m

$L = 2m$ $m = \pm 1$

$$\sin\theta = m\frac{\lambda}{a}$$

$$\sin\theta = \pm\frac{\lambda}{a}$$

$$\sin\theta = \pm\frac{589\times10^{-9}m}{0.3\times10^{-3}m}$$

$$\sin\theta = \pm 1.93\times10^{-3}$$

موقع الهدب المعتم الأول هو عند مسافة Y ولكن من لمثلث

$$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$$

$$\tan\theta = \frac{y_1}{L}$$

ولكن هنا الزاوية θ صغيرة جدا وعندها تكون

$$\theta = \sin\theta = \tan\theta$$

$$\sin\theta = \frac{y_1}{L} \Rightarrow y_1 = L\sin\theta$$

$$y_1 = \pm L\frac{\lambda}{a}$$

$y_1 = \pm 3.87 \times 10^{-3}$ m

ومنه لحساب عرض الهدب المركزي المضيء

$2y_1 = 2\times 3.87 \times 10^{-3}$ m

$= 7.73 \times 10^{-3}$ m

س2: شق واحد عرضه 0.14mm أضيء بضوء أحادي اللون ولوحظت مناطق الحيود على حاجز يبعد 2m ، إذا كانت المنطقة المظلمة الثانية تبعد (1.6cm) عن المنطقة أوجد الطول الموجي للضوء الساقط.

$A = 0.14$ mm $= 0.14 \times 10^{-3}$ m

$L = 2$m $\quad m = 2$

$y_2 = 1.6 \times 10^{-2}$ m

$$\sin\theta = \tan\theta = \frac{y}{L}$$

$$= \frac{1.6 \times 10^{-2}}{2} = 8\times 10^{-3}$$

$$\lambda = \frac{a \sin\theta}{m}$$

$$\lambda \ \frac{0.14 \times 10^{-3} \times 8 \times 10^{-3}}{2}$$

$\lambda = 510 \times 10^{-9}$ m

$\lambda = 510$ nm

س3:– شق منفرد عرضه "a" مضاء بضوء أحمر طوله الموجي (650nm) وتعطي النهايات الصغرى من الرتبة الأولى لحيود فرانهوفر بزاوية مع الحيود البصري مقدارها5^0 أوجد عرض الشق .

$$\sin\theta = \frac{m\lambda}{a}$$

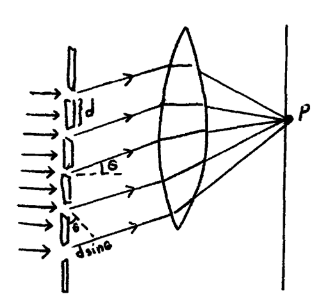
$$a = \frac{m\lambda}{\sin\theta} = \frac{1\times 650\times 10^{-9}}{\sin 5^{o}} = 6.5\times 10^{-6}m$$

* **محزوز الحيود The Diffraction Grating**

هو جهاز في مفيد في تحليل مصادر الضوء، ويتألف من عـدد ضخـم مـن الشقـوق المنتظمة المتباعدة والمتساوية في العرض.

الرسم التخطيطي لمخزوز هيود يرى في الشكل (8)

العدسة اللامة تستخدم لتجيمع الأشعة عند النقطة p.



كل ثقب ينتج حيود كما تم شرحه سابق وكل شعاع منحرف (منحاد) ناتتج عـن ثقب سوف يتداخل مع شعاع منحاد آخر من ثقب آخر وهكذا . فنقول بأن كـل ثقب يتصرف كمصدر ضوئي للأمواج .

في اتجاه معين مأخوذ عن الأفقي بزاويةθ فإن الأمواج سوف تسير مسارات مختلفـة

قبل الوصول ل (أ)

من الشكل (8) فإن الفرق في المسـار بين موجتين ناتجتين عن شقـين متجاورين هو d $\sin\theta$.

وسـوف يكـون فـرق الطـور هنـا بـين كـل موجتـين متجـاورتين هـو λ أو أحـد مضاعفاتها وعندها فإن ما سيحدث عند أ هـو تداخـل بنـاء وسـوف يكـون هنـاك تداخل بناء حيث

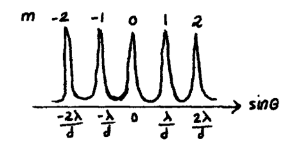
$d\sin\theta = m\lambda \quad m = 0,1,2,3,\ldots\ldots\ldots$ ← نهاية عظمى

حيث d :– المسافة بين ثقب وآخر.

m :– الرتبة .

θ :– زاوية الانحراف.

وسوف تكون شدة الضوء الحاصلة من مزوز حيود هي كما في الشكل (9)



* ملاحظات

1– محزوز الحيود المثالي هو ذلك الـذي يحتـوي علـى عـدة آلاف خـط بالسـنتمتر الواحد..

2- للحصول على d يعطى عادة من كم (خط /سم) يتكون المخزوز ونحسب d من مقلوب هذه الكمية

مثال : - مخزوز ينتج 5000 Line / cm أوجد (d)

$$d = \frac{1}{5000} = 2 \times 10^{-4} \text{ cm.}$$

أسئلة :

س1 : ضوء له طول موجي يساوي (632 nm)، يسقط عموديا على مخزوز حيود يحتوي 6000 Line /cm أوجد الزوايا التي من خلالها يمكن ملاحظة النهاية العظمى الأولى والنهاية العظمى الثانية وكم عدد النهايات الممكنة .

$$d = \frac{1}{6000} = 1.667 \times 10^{-4} = 1.667 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\lambda = 632 \times 10^{-9} \text{ m}$$

بالنسبة للنهاية العظمى الأولى

$m = 1 \quad \theta = ?$

$$\sin\theta = m\,\frac{\lambda}{d}$$

$$\sin\theta = \frac{2 \times 632 \times 10^{-9}}{1.667 \times 10^{-6}} = 0.7592$$

$$\theta = 49.41$$

بالنسبة للنهايات العظمى الثالثة

$$\sin\theta = \frac{3 \times 632 \times 10^{-9}}{1.667 \times 10^{-6}} = 1.139$$

وهذا لا يمكن حدوثة لأن قيمة الجيب لا تتجاوز الواحد صحيح.

بالتالي فالقيم المسموحة ل m هي 0،1،2 .

س2 : محزوز يحتوي على 600 Lines/mm، يسقط عليه ضوء أبيض بشكل عمودي إذا كانت صورة الحنود تعطينا معلومات بأن الخط الأحمر في طيف الرتبة الأولى تشاهد بزاوية 23° والخط الأخضر بزاوية م190 أوجد الأطوال الموجية لهذه الخطوط.

$$d = \frac{1}{600} = 1.6\times10^{-3}\ mm = 1.6\times10^{-6}\ m$$

$$d \sin\theta = m\lambda$$

$$\theta_{red} = 230 \quad m = 1$$

$$\lambda_{red} = \frac{d\sin\theta}{m}$$

$$\lambda_{red} = 1.6\times10^{-6}\ \sin 23 = 625\times10^{-9}\ m$$

$$\theta_{green} = 19^{0} \quad m = 1$$

$$\lambda_{green} = \frac{d\sin\theta}{m}$$

$$\lambda_{green} = 1.6\times10^{-6}\ \sin 10 = 514\times10^{-9}\ m.$$

س3:- محزوز حيود يسقط عليه ضوء طوله الموجي 500nm، فإذا كان ثابت المحزوز يساوي 2×10^{-6} m أوجد زاوية الحيود لأول هدب مضيئ .

ملاحظة :- ثابت المحزوز هو d

$$d = 2\times10^{-6}\ m$$

$$\lambda = 500\times10^{-9}\ m$$

$$m = 1$$

$$d \sin\theta = m\lambda$$

$$\sin\theta = \frac{m\lambda}{d}$$

$$\sin\theta = \frac{1\times500\times10^{-9}}{2\times10^{-6}} = 250\times10^{-3}$$

$$\sin\theta = 250\times10^{-3} \leftarrow \theta = \sin^{-1}(250\times10\text{-}3) = 14^{0}.47$$

خامسا :- الاستقطاب

مقدمة

* لقد فسرت النظرية الموجية ظاهرتي الحيود والتداخل ..وكما أن الضوء يحدث له تداخل وحيود والصوت أيضا يحدث له حيود وتداخل.. فما الذي يميز الضوء عن الصوت.

* الموجات الصوتية :-

أ- لاتنتشر إلا من خلال وسط مادي .

ب- موجات طولية (الاهتزاز بنفس اتجاه انتشار الموجة)

* الموجات الضوئية :-

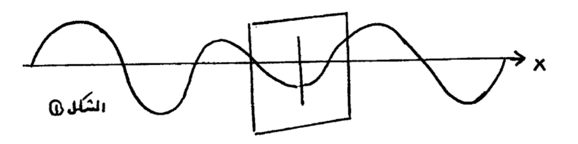
أ- تنتشر في الفراغ بسرعة ثابتة (3×10^8 m/s) ولا تحتاج لوسط ناقل.

ب- موجات مستعرضة (الاهتزاز عمودي على اتجاه انتشار الموجة)

← الظاهرة التي تؤيد أن الضوء موجات مستعرضة هي ظاهرة الاستقطاب والتي سوف نشرحها.

← تجربة :-

لو افترضنا حاجزا فيه فتحة طولية ومررنا حبل يهتز للأعلى والأسفل أي بشكل عمودي على المحور (x) إنظر الشكل (1) .

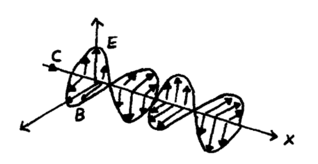


نلاحظ أن الموجة سوف تنتشر وتمر من الفتحة ... وبشكل عمودي على اتجاه انتشار الموجة. وعند إدارة الحاجز 90^0 سوف تنعدم الموجة عند تصادمها مع الحاجز لأنها لن تمر من خلال الفتحة.

2- الضوء المستقطب وغير المستقطب .

* الضوء غير المستقطب:-

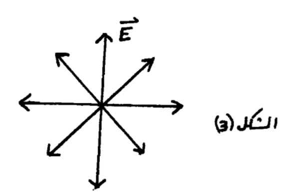
إن شعاع الضوء العادي يتألف من عدد كبير من الأمواج المشعّة بواسطة ذرات وجزيئات المصدر الضوئي... كل ذرة تنتج موجة ولها مركبة كهربائية $\vec{E}$ ومركبة مغناطيسية $\vec{B}$ تختلف عما للذرات الأخرى. كما في الشكل (2).



يعرّف عادة على الضوء بالمركبةالكهربائية $\vec{E}$ ولأن جميع الاتجاهات لاهتزاز ذرة مصدر الضوء ممكنة لذلك فإن موجة الضوء الكهرومغناطيسية هي محصلة الموجات الناتجة عن الذرات المفردة .

والناتج هو ضوء غير مستقطب (موجات مستعرضة تحدث في جميع المستويات الممكنة المتقاطعة في الخط الذي يمثل اتجاه انتقال الموجة) انظر الشكل (3) وهنا

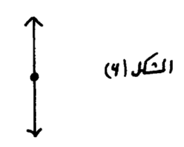
اتجاه انتشار الموجة هو عمودي على الصفحة. ونلاحظ أن كل الاتجاهات للمركبة الكهربائية متساوية الاحتمالية وعمودية على اتجاه انتشارها.



الشكل (3)

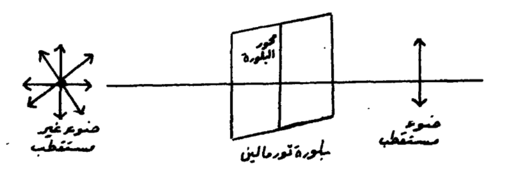
* الضوء المستقطب

يقال عن الضوء بأنه مستقطب إذا كانت $\vec{E}$ تهتز بنفس الاتجاه طوال الأوقات عند نقطة معنية (لاتجاه واحد) كما في الشكل (4)


الشكل (٤)

← وجد أن بعض البلورات تعمل استقطابا للضوء مثل بلورة النورمالين.

← تجربة:— لو وضعنا بلورة بورمالين أما ضوء غير مستقطب فإن من خواص البلورة أنها سوف تمرر الموجات التي اتجاه مجالها الكهربائي مواز لمحور البلوري وسوف تمتص مادون ذلك من الموجات. انظر الشكل(5)



نحصل من ذلك على ضوء مستقطب .

ملاحظات:-

أ- يسمى الاتجاه المعين المشار إليه سابقاً وهو الذي يسمح للذبذبة الضوئية بالمرور (بالمحور الضوئي). ومعروف أن هذا الاتجاه يوازي خطّاً معيناً في البلورة والذي سميناه محور البلورة ويجب أن نلاحظ أن محور البلورة هو خط معين في البلورة ويمكن تحديده بالنسبة لأي بلورة ذات شكل هندسي معروف بعيدا عن ظاهرة الاستقطاب. وقد علمنا من التجارب أن استقطاب الضوء يحدث في اتجاه يوازي محور البلورة. ويسمى أي خط في البلورة مواز لمحورها بالمحور الضوئي.

ب- يسمى الضوء الذي نحصل عليه بعد مرور في البلورة بضوء مستقطب.

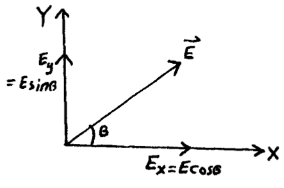
ويسمى الضوء أيضاً بضوء مستقطب استقطاب مستوياً، حيث تحدث الذبذبات في مستوى يحدده المحور الضوئي واتجاه انتقال الموجة .

جـ- تسمى بلورة التورمالين بالمستقطب.

د- ظاهرة الانقطاب تثبت أن الموجات الضوئية مستعرضة .

هـ- النتيجة العامة :-

عندما يسمح لموجات الضوء بالمرور خلال بلورة تورمالين، تسمح البلورة للمجالات الكهربائية التذبذبة في الاتجاه محورها الضوئي بالمرور بينما تمتص المجالات الالكهربائية المتعامدة . مع المحور الضوئي بزاوية مختلفة فإن كلا منها يتحلل إلى مركبتين أحدهما موازية للمحور يسمح بمرور الأخرى عمودية عليه تمتص .



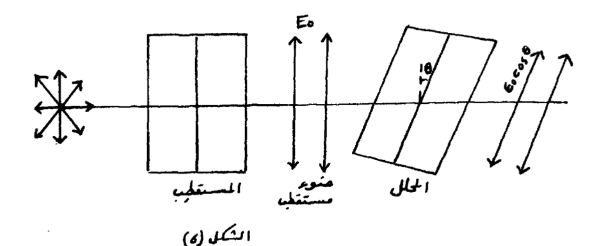
والنتيجة أن الموجات الكهربائية متذبذبة في اتجاه واحد فقط هو اتجاه المحور الضوئي المبلورة ويسمى الضوء بذلك مستقطباً في مستوى .

وإذا أديرت البلورة حول اتجاه انتشار الضوء فإن مستوى الاستقطاب يدور مع دوران محور البلورة .

3- طرق الحصول على ضوء مستقطب.

أ- طريقة الامتصاص الانتقائي.

لو حاولنا أن نكمل ا لتجربة السابقة التي في الشكل (5) ووضعنا في طريق الشعاع المستقطب مستقطب آخر ولكن بزاوية θ عن المستقطب الأول انظر الشكل (6)



الشكل (٥)

* محور المستقطب الثاني يميل عن محور المستقطب الاول بزاوية θ.

* لو سمينا الضوء المستقطب الأساسي E1 .

* يسقط E_o على المستقطب الثاني .

*E_o لها مركبتين هما $E_o \sin\theta$ و $E_o \cos\theta$

* سوف تمر المركبة الموازية لمحور المستقطب الثاني وهي $E_o \cos\theta$ وتمتص المركبة الأخرى $E_o \sin\theta$.

* لذلك يسمى المستقطب الثاني ، باسم المحلل.

* شدة الضوء هي I

شدة الضوء تعتمد على مربع المجال الكهربائي .

$I \propto E^2$

قبل السقوط على المحلل تكون شدة الضوء = Io أي الشدة الأصلية $Io \propto E_0^2$

حيث $E=E_o$ قبل السقوط على المحلل.

بعد النفاذ من المحلّل

$I \propto E2$

ولكن $E = Eo \cos \theta$

و I هي الشدة بعد النفاذية المحلل

$Io \propto E_0^2$ ولكن $I \propto E_0^2 \cos^2 \theta$

فتصبح $I \propto Io \cos^2 \theta$

وحسب هذا الأمر فإن الشدة سوف تنقص كلما زادت الزاوية، حتى نجعل محور المحلل عموديا على محور المستقطب أي $\theta = 90°$

وعندها تصبح $I = Zero$

أي يختفي الضوء .

3- طريقة الانعكاس والانكسار.

عندما ينعكس ضوء غير مستقطب من سطح فإن الضوء المنعكس يمكن أن يستقطب استقطابا كاملا أو جزئيا أولا يستقطب وهذا معتمد على زاوية السقوط.

* إذا كانت زاوية السقوط (0) أو (90) فإنه لا يحدث استقطاب للضوء المنعكس.

* إذا كانت زاوية السقوط غير ذلك قد يستقطب استقطابا جزئيا أو كاملا.

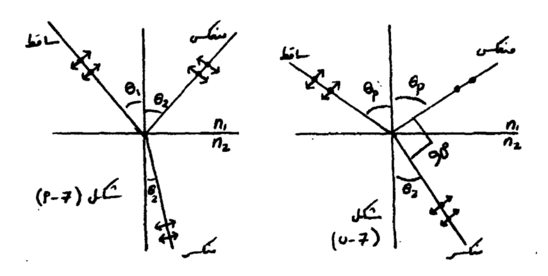
* لنفترض ضوء غير مستقطب على سطح كما في الشكل (7) ... الشعاع يمكن أن يوصف بمركبتين للمجال الكهربائي أحدهما موازية للسطح (ممثلة بالنقاط) والأخرى عمودية على اتجاه الانتشار (ممثلة بالأسهم).

* المركبة الموازية سوف تنعكس بشك أقوى من المركبة العمودية وهذا يسبب استقطاب جزئي انظر الشكل (ب–أ) كذلك يحصل للضوء المنكسر (استقطاب جزئي) .

* إذا زدنا زاوية السقوط بحيث حصلنا على زاوية بين الشعاع المنكسر واشعاع المنعكس مقدارها 90^0 ، من التجارب فإنه عند زاوية السقوط هذه يكون الشعاع المنعكس مستقطبا استقطابا كاملا مع مجاله الكهربائي الموازي (انظر الشكل 7–ب) بينما الشعاع المنكسر يكون مستقطبا استقطابا جزئيا.

تسمى زاوية السقوط هذه بزاوية الاستقطاب **(polariZation angle = θp)**

أو زاوية ا لعالم بروستر **(Brewster's angle)**



باستخدام قانون سنل للانكسار

$$n1 \sin \theta_1 = n2 \sin \theta_2 \quad .....(1)$$

ومن الشكل (7–ب)

$n1 = 1 \quad \theta p = \theta 1$ زاوية السقوط

فيصبح قانون سنل للانكسار

$\theta p + 90^{\circ} + \theta_2 = 180$ ....(2)

ومنه $\theta_2 = 180 - 90 - Gp$

$\theta_2 = 90 - \theta p$

$\sin \theta_2 = \sin (90 - \theta p)$ .....(4)

ولكن من قواعد المثلثات

$\sin (90 - \theta_2) = \cos \theta p$ ....(5)

من (3)

$$n2 = \frac{\sin \theta p}{\sin \theta_2}$$

ولكن من (4)

$$n2 = \frac{\sin \theta p}{\sin (90 - \theta p)}$$

ومن (5)

$$n2 = \frac{\sin \theta p}{\sin \theta p}$$

$n2 = \tan \theta p$

وبشكل عام

$n = \tan \theta p$

أسئلة :-

س1 : عرف زاوية الاستقطاب؟

هي الزاوية التي يحدث عندها استقطاب كامل للشعاع المنعكس..

أو هي الزاوية التي يكون عندها الزاوية بين الشعاع المنعكس والشعاع المنكسر مقدارها 90^0.

س2:- إذا حصل للضوء الساقط على الزجاج التاجي عند انعكاسة استقطابا كاملا، احسب زاوية السقوط التي يحدث عندها الاستقطاب (معامل الانكسار الزجاج التاجي هي 1.52)

$\tan \theta_2 = n$

$\tan \theta p = 1.52$

$\theta p = \tan^{-1} 1.52$

$\theta p = 56.7$

س3: زاوية سقوط شعاع ضوئي على سطح عاكس تتغير باستمرار. الشعاع المنعكس وجد أنه استقطب الستقطابا كاملا عند زاوية السقوط 48^0 . ما هو معامل انكسار المادة العاكسة.

$N = \tan \theta p$

$n = \tan 48 = 1.11$

س4 :- شعاع ضوء سقط على زجاج له $(n = 1.65)$ وعند الاستقطاب الكامل للشعاع المنعكس كانت زاوية السقوط هي زاوية الاستقطاب (θp) ، احسب زاوية الانكسار

$\theta p = \theta 1$ زاوية السقوط

$\tan \theta p = n$

$\theta p = \tan^{-1} n$

$\theta p = \tan^{-1} n$

$\theta p = \tan^{-1} 1.65$

$\theta p = 58$

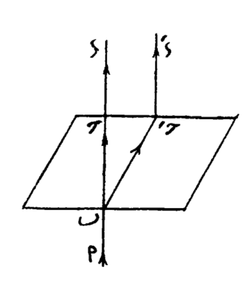
$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

$n_1 \sin \theta p = n_2 \sin \theta_2$

$1 \times \sin 58 = 1.65 \sin\theta_2$

$\sin \theta_2 = \frac{1 \times \sin 58}{1.65} = 0.514$

$\theta_2 = \sin^{-1} 0.514 = 30.93$



جـ- طريقة الانكسار المزدوج

وجد بأنه إذا سقط شعاع عموديا على وجه بلورة كالسايت فإنه يخرج الوجه المقابل للبلورة وقد انقسم إلى شعاعين أحدهما على استقامة الأول والآخر ليس على استقامته.

فمثلاً لو كان الشعاع الساقط هو AB فإنه ينقسم إلى شعاعين أحدهما (BCD) يسمى الشعاع المعتاد وذلك لأنه يتبع قانوني الانكسار والآخر وهو (BC1D1) ويسمى الشعاع غير المعتاد ولايتبع قوانين الانكسار.

والشعاعان الخارجان كلا منهما مستقطب حيث يكون مستوى الاستقطاب لأحدهما عموديا على مستوى الاستقطاب للشعاع الثاني ويمكن معرفة ذلك باستخدام بلورة الكاليات نحصل على صورتين لهذه النقطة كذلك لو وضعنا بلورة

تورمالين في طريق الأشعة الخارجية نحصل على وضع تختفي فيه إحدى الصورتين بينهما تظهر الأخرى ... أما إذا أديرت البلوزة عن هذا الوضع بمقدار 90^0 تظهر الصورة الأولى وتختفي الثانية .

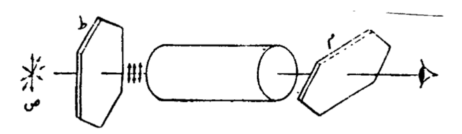
والكالسايت مثله مثل الكوارتز وسطا متجانسا لكن ليس مستوي الخواص في جميع الاتجاهات وعندها تكون سرعة الضوء متوفقة على الاتجاه الذي يسير فيه الضوء وبالتالي تختلف سرعة الضوء.

وقد ابتدع العالم نيكول منشورا سمي باسمه يحصل من خلاله على ضوء مستقطب استقطابا تاما وهوعبارة عن بلورة كالسايت قسمت لقسمين ثم أعيد لصقها بواسطة بلسم كندا وصمم هذا المنشور بحيث إذاسقط ضوء غير مستقطب في اتجاه معين فيمر الشعاع غير لعادي في نفس الاتجاه ويستقبل من الجهة الأخرى ونحصل على ضوء مستقطب وهذا المنشور يستخدم لعدد من الأغراض في عدد من الأجهزة الضوئية .

4- الفعالية الضوئية:

وجد بأن بعض المواد الشفافة للضوء لها خاصية أنها تدير مستوى الاستقطاب لشعاع ضوئي إذا مر من خلالها.

فمثلا لو أحضر مصدرا ضوئيا ووضعنا أمامه بلورة تورمالين كمستقطب كما في الشكل



ثم تركنا مسافة لوضع المادة المراد اختبارها ثم وضعنا بلورة أخرى تورمالين كمحلل وجعلنا محوري البلورتين متوازيين... ثم وضعنا بلورة الكوارتز بينهم تلاحظ عند النظر لمصدر الضوء بأن وضوح الضوء قد قل وبأنه يلزم إدارة المحلل بلورة الكوارتز تعمل على إدارة مستوى الاستقطاب خلال زاوية معينة وتسمى هذه الظاهرة بالفعالية الضوئية.

وتعرف زاوية الدوران لمستوى الاستقطاب بأنها الزاوية بني وضعي المحلل في حالة وجود مادة تحت الاختبار وفي حالة عدم وجودها ، وقد وجد أن زاوية دوران مستوى الاستقطاب تعتمد طرديا على سماكة المادة ودرجة الحرارة للمادة كذلك تتناسب عكسيا مع مربع الطول الموجي للضوء المستخدم.

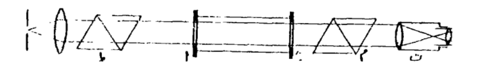
ويعود سبب حصول الفعالية الضوئية للمادة للتوزيع غير المتماثل للذرات داخل جزيئات المادة .

هذا وقد أثبت أيضا وجود فعالية ضوئية للسوائل والأبخرة مثل عطر الليمون والنعناع ومحلول السكر أو محلول مادة ذات فعالية ضوئية ويكون زاوية الدوران θ عندما يمر الضوء في محلول المادة لها طول (ل) ودرجة تركيز(ت)

$$\theta = \text{ن} \times \text{ل} \times \text{ت}$$

حيث ن ثابت يدعى بزاوية الدوران النوعي للمحلول والتي تعرف على أنها زاوية دوران مستوى الاستقطاب لضوء مستقطب يمر في طول من المحلول قدره واحدة ديسمتر ويحتوي 1 غم في 1سم3 من المحلول.

• مقياس الاستقطاب



يمكن استخدام دوران مستوى الاستقطاب للضوء كوسيلة لتقدير تركيز محلول مادة فعالة ضوئيا ويسمى الجهاز المستخدم لهذا الغرض ploarimeter أو مقياس الاستقطاب وهو يتكون كما في الشكل من مصدر للضوء موضوع في بؤرة عدسة مجمعة وعندما يسقط الضوء على عدسة مجمعة يخرج بشكل متواز من الجهة الأخرى ويمر بعدها على منشور يكون مستقطب ومن ثم يسقط على أنبوبة زجاجية تحتوي محلول السكر (غير معروف التركيز) وبعدها يسقط عل منشور نيكول محلل.

يحصل تدوير المستوى الاستقطاب فتدير المحلل حتى توضح الصورة والمحلل مربوط بمؤشر على مقياس داتري يعطينا زاوية دوران المحلل.

وبمعرفة طول الأنبوبة والدوران النوعي يمكن معرفة تركيز المحلول من خلال العلاقة

θ = ن× ل × ت.

الوحدة الخامسة

الليــــزر

الوحدة الخامسة : الليزر

مقدمة

كلمة ليزر هي المصطلح العربي المترجم حرفيا عن المصطلح الأجنبي (LASER) وكلمة (IASER) هي عبارة عن الأحرف الأولى لكلمات الجملة التالية :-

" Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"

ومعنى هذه الجملة هو :-

" تكبير الضوء بوساطة الانبعاث المحفّز (المحرض) للإشعاع"

• أولا :- مصطلحات ومفاهيم :-

1- السكان، التوزيع السّكاني، الانقلاب السكاني.

يمكن تصور الذرات بأنها مستقرة في مناسيب للطاقة (مستويات للطاقة)، ويكون العدد الأكبر للذرات في المستوى الأدنى الطاقة ونسمي الذرات (بالسكان)....

E_3

E_2

E_1 ●●●●●

وهنا الذرات مستقرة .

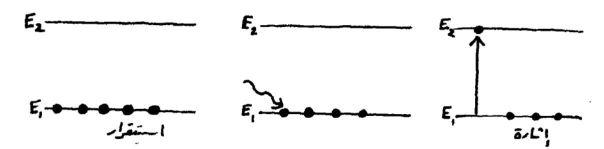
وهذا هو التوزيع الطبيعي للسكان.

لكن في حالات معينة سنتكلم عنها، يكون عدد السكان في المستوى الأعلى في الطاقة أكبر من عدد السكان في المستوى الأقل في الطاقة وهنا يكون انقلاب في التوزيع وتسمى بالانقلاب السكاني.

2- الامتصاص التحريضي:-

في درجات الحرارة العادية ، معظم الذرات تكون في حالة الاستقرار ويمكن رفع هذه الذرات إلى مستويات طاقة أخرى وذلك عندما تمتص الذرة فوتونا طاقته متساوية للفرق بين طاقتي المستويين (الذي كانت فيه الذرة والذي انتقلت إليه) أنظر إلى الأشكال التوضيحية التالية

تسمى هذه الحالة بالامتصاص التمريضي.



2- الانبعاث التلقائي

في المثال السابق أصبحت الذرة في حالة الاستثارة وتمتلك مستوى طاقي E2، ولنفرض أن مدة مكوث الذرات في هذا المدار هو (10^{-8}s) ..فإنه بعد مرور (10-8s) سوف تعود الذرة تلقائيا وبدون أي تأثير خارجي إلى مستقرها باعثة فوتونا

بطاقة تساوي طاقة الفرق بين المستويين وتسمى هذه المرحلة بالانبعاث التلقائي.

$E_2 - E_1$

3- الانبعاث المحفز

وجد آينشتاين بإمكانية تحفيز الذرة المستثارة في المثال السابق وقبل عودتها تلقائيا إلى مستقرها وذلك بمرور فوتون بجانبها (وطاقة هذا الفوتـون هـي (E2-E1) مما يسبب في انتقالها لمستقرها.

فلو كانت مدة مكوث الذرات في E2 هي $10^{-3}s$ .... وأردنا تحفيز الذرات لتعود لمستقرها... فإننا نفعل ذلك عندما يمر فوتون محفز طاقة E2-E1)مما يسبب في انتقالها لمستقرها. فوتون طاقته (E2-E1) .... إذا صدر زوج من الفوتونات .... وهذين الفوتونين سوف يمران بجانب ذرتين مثارتين ويسببان بإصدار أربعة فوتونات بنفس الطريقة وهكذا.

E_2

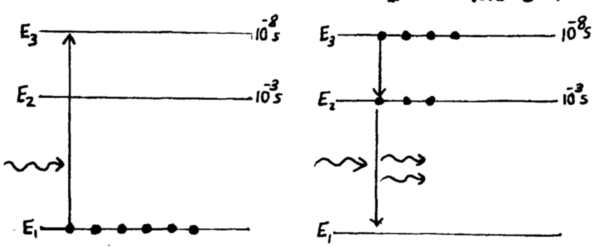
$E_2 - E_1$

E_1

تسمى هذه الظاهرة بالانبعاث المحفز وهنا يتم تكبير الضوء أي انتاج الليزر .

ثانيا :- إنتاج الليزر

1- إنتاج الليزر بثلاثة مستويات للطاقة .



* لو افترضنا وجود ثلاثة مستويات للطاقة .

E1 هو المستوى الأدنى لطاقة وتتركز فيه معظم الذرات.

E2 مستوى وفيه مدة مكوث الذرات ($10^{-3}s$).

E3 مستوى وفيه مدة مكوث الذرات ($10^{-8}s$).

* لو حصل عملية ضخ ضوئي تم فيها دفع الـذرات إلى المسـتوى E3 ..... تمكـث الذرات في هذا المستوى($10^{-8}s$) ثم تعود إلى المستوى E2 تلقائيا وتنبعث اشعة تحت حمراء ...

ثم تبدأ الذرات بالمرحلة الأخيرة من E2 إلى E1 .

ولكن مدة مكوث الذرات المستثارة عند الحالة E2 هـي 100000 مـرة أطـول مـن فترة مكوثها في المستوى E3 .

بعد فترة سوف يمكث عدد كبير من الذرات في E2، ويكون قد هبط البعض الآخر إلى E1 هبوطا تلقائيا مشعا فوتونات طاقتها (E2-E1) وهذه الفوتونات قسم منها سيكون اتجاه انطلاقتها غير مواز لمحور قضيب الليزر وسوف تفلت وتظهر من جوانبه وتفقد . أما الفوتونات المنطلقة بموازاة محور ا لقضيب فإن المرايا تصدها مرجعة إياها إلى داخل القضيب وبنفس الاتجاه ذهابا وإيابا، أثناء رجوعها وانعكاسها وعند مرورها جوار ذرات مستثارة أخرى لها نفس الطاقة والتردد الكامنة عند المنسوب(E2)، فإنها سوف تنشط انطلاق فوتونات (كان يمكن لها أن تنطلق تلقائيا انتظرنا عليها 10^{-3}s وسوف تكون هذه الفوتونات مشابهة ومتوافقة للأصلية ومنطلقة بنفس الاتجاه.

إن انطلاق الفوتونات بالفوتونات وبالصيغة المذكورة سابقا يعتبر بداية "انبعاث محفز للإشعاع" أو تولد ضوء ليزر وذلك بإخلاء الذرات المستثارة من المنسوب E2 .

2- إنتاج الليزر بواسطة 4 مستويات للطاقة .

E_4 (10^{-3}s)

E_3 (10^{-8}s)

E_2

E_1

يتم تهيج الذرات الآن من E1 إلىE4

مدة مكوث الذرات في E4 هو 10-3s

مدة مكوث الذرات في E3 هو 10-8s

تقوية وتكبير الضوء يحدث بين E_4 و E_3

هناك احتمال لانتقال الذرات احتمال تلقائي من $E_3 \rightarrow E_1$ يمكن أن يؤدي هذا الانتقال إلى تهيج ذرات من E_1 إلى E_3 مما يؤدي لزيادة مقدار السكان في E_3 وهذا بدوره يؤدي إلى فقدان عملية الانقلاب السكاني من E_3 إلى E_4 لذلك يتم اختيار وسط يمتلك مستوى طاقة يكون بين E_3 و E_1 (وهو E_2) بحيث يكون هناك انتقال تلقائي للذرات من $E_3 \rightarrow E_2$

ثالثا : شروط توليد الليزر

إن أي جهاز مولد لليزر يجب أن يمتلك الشروط التالية:

1- وجوب توفر الوسط وأنواعة ، وسنأتي لأنواعها.

2- الضخ لاستثارة الذرات وتحول الاستيطان

3- التضخيم المتفاقم والتزنين وهذه العملية تتم داخل الوسط وما يتبعه من ملحقات مثل مرآتين عاكستين إحداهما عاكسة 100٪ توجد على جهة والأخرى عاكسة جزئيا توضح على الجهة الأخرى لقضيب الليزر.

رابعا : تصنيف مولدات الليزر.

هناك صيغتان يمكن اعتمادهما لتصنيف مولدات الليزر وهما:-

1- صيغة الاعتماد على المستويات الطافية لوسط الليزر . وعلى هذا الأساس

تقسم مولدات الليزر إلى ..

أ- مولدات الليزر ثلاثية مستويات الطاقة .

ب- مولدات الليزر رباعية مستويات الطاقة .

2- صيغة الاعتماد على الحالة المادية للوسط، وعلى هذا الأساس تقسم مولدات الليزر إلى

أ- ليزر الحالة الصلبة

ب- ليزر الحالة الغازية .

جـ- ليزر الحالة السائلة .

خامسا:- ليزر الحالة الصلبة.

تتميز مولدات مواد الحالة الصلبة بتركيب مادة لبُها القضيبي الشكل المتألف من الزجاج، أو أي مادة بلورية أخرى ، والمطعم بحوالي 2٪من بعض المواد المضافة والتي تطلق الليزر عند ضخها.

1- الأنواع الشائعة لمادة الوسط المولد لليزر، كل حسب اسمه المختصر وتركيبه التفصيلي.

أ- الروبي (الياقوت) - أكسيد الألمنيوم المطعم بالكروم.

ب- Nd :Yag = يتريوم ألمنيوم جارنيت مطعم بمادة النيوديوم .

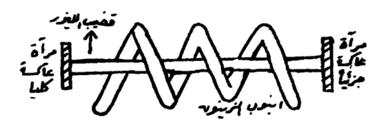
جـ- (Y A103 = Yalo) = يتريوم أكسيد الألمنيوم.

د- (Nd : Ca Wo4) = تنجستات الكالسيوم المطعم بالنيوديميوم.

2– طرق ضخ مولدات ليزر الحالة الصلبة

أ– الضخ بواسطة الوميض ا لضوئي .

مثل استعمال انبوب الزينون الوامض ولفه علـى قضيـب الليزر كمـا في قضيـب ليزر الياقوت ، انظر الشكل .



ب– الضخ بالطاقة الشمسية .

باستخدام مرآة نصف كروية لتركيز ضوء الشمس المباشر .

وتستخدم في مجال الاتصالات عن طريق المركبات الفضائية .

جـ– الضخ الكيميائي:–

وتعتمد على (أ) التفاعل الكيميائي

أو (ب) الانفجارات الكيميائية المتفرقعة والتي تحدث ومض ضوئـي، أثنـاء حدوثـها داخل انبوبة ، يوجه الومض المحرر باتجاه وسط الليزر لتشغيله كالمعتاد.

3– مثال على ليزر الحالة الصلبة

ليزر الياقوت (Ruby Laser)

الوسط هنا على شكل قضيب يبلغ طوله بضعة سنتمترات وقطره نصف سنتمتر وتركيبه من أكسيد الألمنيوم المطعم بعنصر الكروم وبنسبة 0.05% والتي تكسب القضيب لونه الوردي ويدعى قضيب الياقوت. يصنع القضيب أملسا وصقيلا وتكون نهايتاه متوازيتين وحقيلتين... وعندهاتين النهايتين يوجد مرايا ... إحدى النهايتين تكون مرآتها عاكسة 100٪ بينما تكون الأخرى عاكسة بنسبة 5٪ و أي أنها 5٪ شفافة أو معبرة لضوء بنبضة الليزر وانطلاقها بعد تولدها ونموها لمنسوب عال.

يحيط القضيب مصباح عنصرا الزينون... والغرض منه هو إعمالة كمصدر لتجهيز طاقة خارجة على شكل ضوء مسلك على القضيب (من حوله لاستثارة ذراته بعملية (الضخ) ونوعه هنا ضخ ضوئي) .

ويحيط المصباح بالقضيب بشكل حلزوني بغية الحصول على أكبر كمية من الضوء (انظر الشكل "1")

هنا الليزر هو ليزر ثلاثي المستويات الذي سبق شرحه .

4- المجالات التطبيقية لليزر مواد الحالة الصلبة .

هناك تطبيقات تحتاج إلى قدرة قليلة يمكن لهذا النوع من المولدات أن يحققها وهي:

قياس البعد أوالمسافة، اللحم الدقيق ، التثقيب الدقيق....

أما التطبيقات التي تتطلب قدرة عالية فتشمل تقفي المركبات والمقذوفات الفضائية وقطع المعادن.

ملاحظة: التطبيقات التي تتطلب انطلاقات ليزرية نبضية ذات قدرة آنية عالية وذات برهة زمنية قصيرة ستجد أن ليزر الياقوت يحقق ذلك.

سادسا : مولدات الليزر الغازية .

1- تعتبر مولدات الليزر الغازية الوسط من الأنواع المتميزة بسبب مقدار القدرة العالية التي يكون الحصول عليها (من بعض الأنواع) ونوع المزدوج المستمر مقارنة بالليزر من مواد الحالة الصلبة ، فمثلا باستطاعة أحد أنواعها الذي هو ليزر ثاني اكسيد الكربون أن يجهز أعلى قدرة خروج مستمرة مقارنة بأي صنف أو نوع آخر من مولدات الليزر.

مولدات هذا الصنف هي من ذرات رباعية مستويات الطاقة .

2- أنواع ليزرات الغازات :-

أ- ليزر المواد الغازية المتعادلة .

مثل ليزر الهيليوم – نيون (He :Ne)

ب- ليزر المواد الغازية الجزئية .

يحدث فيها الليزر بسبب الاهتزاز والدوران الجزئي للغاز .

مثال: -

ليزر غلاز ثاني اكسيد الكربون (Co_2) ، وليزر النيتز N_2 .

جـ- ليزر المواد الغازية

أ- الاستثارة الخارجية للمناسيب ← تتم الاستثارة ما بين المستويات بتصادم الالكترونات الهائجة مع الذرات المستقرة .... يتم تبادل طاقي وتصبح الذرات المستقرة مهيجة .

ب- الاستثارة المكتسبة (المستحثة) ما بين المستويات وتتم بواسطة تصادم ا

للذرات بالذرات حيث تتصادم الذرات المستثارة و استثارة الواقعة في مستويات غير مستقرة مع ذرات عنصر آخر في حالة غير مستثارة.

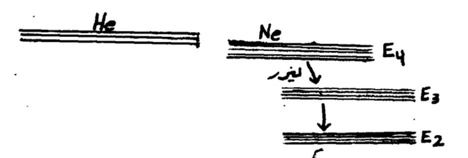
4- مثال على ليزر الحالة الغازية :-

ليزر هيليوم – نيون He - Ne Laser

يتألف من نفس المكونات الأساسية لمولدات الليزر.

مادة الوسط هو خليط من 90٪ غاز نيون مع 10٪ من غاز الهيليوم

يوضع الخليط في أنبوب مغلق وتحت ضغط منخفض .



الفرق الرئيسي في تركيب ليزر الحالة الصلبة والغازية هو في طريقة ضخ المولد . ففي ليزرات الغازات يحدث " تفريغ كهربائي توهجي" وهذا يؤدي لتسريع الالكترونات في الأنبوبةوتصطدم بذرات الهيليوم وتكسبها طاقة وتعمل على إثارتها وتهيجها إلى مستوى الإثارة الأول للهيليوم وهذا المستوى يقابل مستويات مثارة للنيون. تتصادم ذرات الهيليوم مارة بذرة نيون غير مستثارة .... وإذا حدث ذلك ستكون الفرصة مواتية وجيدة لحدوث انتقال طاقي بين ذرات الهيليوم

والنيون، أي أن ذرة الهيليوم ستهبط إلى المستوى E_1 متخلية عن طاقة استثارة تابعة لها بينما وفي نفس الوقت تمتص ذرة النيون هذه الطاقة وتستثار مرتفعة إلى الأعلى. إلى مستوى E4 الذي مدة مكوث الذرات فيه ($10^{-3}s$) ومدة مكوث الذرات في E3 هو $10^{-8}s$.

علل لماذا تتم الإثارة في ليزر الهيليوم – نيون بطريقة غير مباشرة؟

الطاقة الممنوحة من قبل التفريغ الكهربائي لذرات الهيليوم – نيون هي طاقة متصلة لذلك الطاقة الممنوحة لذلك يتم خلط نسبة كبيرة من الهيليوم مع نسبة ضئيلة من النيون ، حيث يعمل التفريغ الكهربائي على رفع ذرات الهيليوم إلى المستوى المثار الأول وبنفس لوقت يمكن أن تثار ذرات النيون إلى المستويات E_2 و E_3 وبالتالي يمكن أن تؤثر على عملية الانقلاب السكاني لكن نظرا لارتفاع نسبة ذرات الهيليوم على ذرات النيون، ونظرا لامتلاك ذرات الهيليوم مستوى طاقة مثار أول مساوي تقريبا لمستوى الطاقة E_4 للنيون ، فإن عملية الانقلاب السكاني سوف تتحقق ، والحكمة من خلط نسبة قليلة من Ne مع نسبة من He وذلك للمحافظة على التعداد السكاني في E4 اكبر.

سابعا : ليزر الحالة السائلة :

زهيدة الثمن وتمتلك صفات وخواص مشابهة لتلك التي يمتلكها ليزر الحالة الصلبة وسطه الليزري من محاليل.

أ– العناصر النادرة .

ب– الصبغة العضوية .

يتم صخها بطريقة الضخ الضوئي . يمكن الحصول على معدل قدرة أكبر مما يمكن

الحصول عليه من ليزر الحالة الصلبة، ولكن تمدد السائل مع الحرارة يؤثرعلى عمل الليزر .

يعتبر ليزر الصبغة العضوية من الأنوا ع التي يمكن التحكم بتردد ضوء الليزر المتولد عنـها.... لهـذا السـبب تسـتعمل هـذه الليـزرات في السـيطرة علـى التفـاعلات الكمياوية .

ثامنا :- خصائص أشعة الليزر

1- أشعة أحادية اللون

الأسباب

أ – الفوتونات تنبعث من انتقال

الـذرات مـن E2 إلى E1 لذلـك

فوتونات الليزر متسـاوية الطاقـة

وتردداتـها متسـاوية وبالتـالي

هناك قيمة واحدة للطول الموجي

مما يعني لون واحد.

ب- الفوتـون عندمـا ينعكـس مـن المـرآة يكـون لـه نفـس تـردد الفوتـون المحفـز والفوتـون المنبعـث مـن سـقوط ذرة مـن E2 إلى E1 وبالتـالي سـوف يكـون محفـزا لانبعاث فوتونات أخرى مـن المـادة الفعالـة بنفـس هـذا الـتردد أي بنفـس الطـول الموجي.

2-الترابط المكاني والزماني .

التردد في الموجة الكهرومغناطيسية صفة زمنية لأن($f = \frac{1}{T}$) فالتردد مربوط بعلاقة مع الزمن الدوري .

طور الموجة هو صفة مكانية

الموجات المترابطة ترابطا زمنيا ومكانيا تكون متساوية في التردد والطور (وهذا ما ينطبق على الليزر).

ملاحظات:-

* الموجات ا لمتوافقة زمنيا متساوية فقط في التردد.

والموجات المتوافقة مكانيا متساوية فقط في الطور .



← في هذا الشكل ، الموجات غير مترابطة مكانيا وزمانيا.

← الموجات مترابطة زمانيا والتردد واحد إما الطور مختلف.

← الموجات مترابطة زمانيا ومكانيا .... نفس التردد ونفس الطول الموجي ونفس التردد ← مثل الليزر .

① ②

3- فوتونات الليزر ذات اتجاه واحد .

يشع مولد الليزر ضوءة على شكل حزمة واحدة متوازية الاشعاعية كما وأنها إتجاهية في اتجاهها.

4- الليزر ذو طاقة وشدة عالية .

مقدار القدرة الخارجية من أصغر مولد ليزري غازي تبلغ حوالي 1 ملي واط بينما تصل هذه القدرة النمتحررة من ليزر الحالة الصلبة المنبوض المتألفة من مضخم يعطي قدر مقدارها 10^9 واط.

5- في مصادر الضوء العادية تلاحظ أننا كلما ابتعدنا عن المصدر نلاحظ انفراج زاوي في الأشعة . الصدارة منه على شكل مخروط أما في أشعة اليزر نلاحظ أن الانفراج الزاوي صغيرا جدا مقارنة مع مصادر الضوء العادية.

6- يمكن لم وتركيز الضوء الليزري إلى بقعة (spot) صغيرة أو إلى تحضيرة (waist) بالاسعانة بالعدسة .

يمكن إعادة توسيع الحزمة مرة أخرى ومن ثم تصفيفها أو توجيهها.

تاسعا :- استخدامات الليزر.

يعتمد استخدام الليزر حسب الغرض المطلوب .

1- هناك استخدامات تعتمد على القدرة العالية مثل الاستخدامات الصناعية " اللحام، الصهر التثقيب يإنصاف أقطار دقيقة جدا وبسرعة فائقة.

2- استخدامات معتمد عل الترابط الزماني والمكاني مثل استخدام الليزر في الاتصالات .

3- هناك استخدامات تعتمد على التوجية الدقيق أهمها الاستخدامات الطبية وأكبر مجال لاستخدامها هو طب العيون ومن التطبيقات في هذا المجال هو استخدام الليزر للحم الأوعبة الدموية الدقيقة في العين والتي تسبب نزيف لمرضى السكري ويسبب ضعف شديد للإبصار ز كذلك بواسطة توجيه شعاع من الليزر

بحيث يلتئم الجزء المنفصل من مشيمة العين ويستخدم ليزر الياقوت بنظام النبضات في معالجة انفصام الشبكية .

أفضل أشعة ليزر لمعالجة العين هي الأشعة ذات أطوال موجية تتراوح ما بين 450 nmإلى 900nm لايستخدم ليزر الهيليوم – نيون لمعالجة العين لأنه يحتوي على أشعة تقع في المنطقة تحت تحت الحمراء فالقرنية والرطوبة المائية في العين تمتص هذه الأشعة وتسبب ضررا للعين تستخدم بعض أنواع ا لليزر لمعالجة الجلوكوما وكذلك لتصحيح الخطأ الانكساري للعين.

يستخدم الليزر أحيانا على بعض أنواع الليزر .

يستخدم الليزر كمشرط للجراحة فهو لايسبب النزيف ومعتم وذو توجيه عالي .

يستخدم كذلك في العملات التجميلية والترميمية .

يستخدم في تفتيت الحصى .

المراجع

أولا : - المراجع العربية

1- أساسيات البصريات / فرانسيس جينكينز/ ترجمة عبد الفتاح الشاذلي وزميله القاهرة 1992.

2- البصريات/ عباس محمد الحسون وزميله / بغداد 1980.

3- مقدمة للبصريات الحديثة والكلاسيكية / جيرجين ر.ماير/ ترجمة د. عمر الشيخ عمان (مجمع اللغة الأدبي)1983.

4- البصريات الفيزيائية حسن محمد جواد وزملاؤه / بغداد 1982.

5- أسس البصريات الهندسية والموجية / ابراهيم عبد الوهاب/ القاهرة 1996.

6- الضوء واللون / فارس طاهر/ لبنان 1976.

7- الإضاءة / دكتور آسر علي زكي وزميله / الاسكندرية 1986.

8- التلفزيون الملون/ مأمون أحمد الحلاق وزميله .

ثانيا: المراجع الانجليزية .

1- Principles of Optics / max Born/London / 4th edition /1959.

2- Optics/ W.H.A Finchman and Freeman / 8th edition / longon 1974

3- Optics / Giuck / New york / 1964

4- The principles of physical optics / Mach, Ernst / New York 1962.

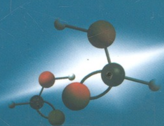
5- Introduction to geometrical and Physical Optics / New york 1953.

6- Light and Color / R. Daniel / New york / 1982

7- Optics / Frands Graham Smith /2nd edition / 1988

8- Hesurement of cdos.

البصريات
الفيزيائية









عمّان - شارع الملك حسين - مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس: 4612190 6 962+ ص.ب 922762 عمّان 11192 الأردن
www.darsafa.net E-mail:safa@darsafa.net